Studiengesellschaft für elektrische Schnellbahnen

BERICHT

über die

Versuchsfahrten auf der Militär-Eisenbahn in den Monaten September bis November 1902

Edward C. Schmidt. Duplicate of the bound copy.
Received September 1903.

STUDIENGESELLSCHAFT FÜR ELEKTRISCHE SCHNELLBAHNEN.

BERICHT

über die

Versuchsfahrten auf der Militär-Eisenbahn

in den Monaten

September bis November 1902.

BERLIN 1903.
Druck von H. S. Hermann.

Wie schon am Schlusse des Berichtes über die im Herbst 1901 ausgeführten Versuchsfahrten dargelegt worden ist, genügten die Ergebnisse dieser Versuche noch nicht, um darauf ein erschöpfendes Urteil über die zweckmäßigste Ausführung des elektrischen Schnellbetriebes auf Vollbahnen in technischer und wirtschaftlicher Beziehung begründen zu können; es sollten deshalb die Versuche im vergangenen Jahre mit größerer Fahrgeschwindigkeit fortgesetzt werden. Hiervon mußte jedoch Abstand genommen werden, weil die Verhandlungen über die von den Staatsbehörden erbetene Herstellung des erforderlichen stärkeren Gleises für die Versuchsstrecke noch schwebten und voraussichtlich erst nach der Genehmigung des Etats der Staatseisenbahn-Verwaltung für das Jahr 1903 durch den Landtag zum Abschluß kommen konnten. Um die Zeit bis dahin möglichst auszunützen, ist inzwischen im Herbst des vergangenen Jahres eine weitere Reihe von Versuchsfahrten auf dem vorhandenen Gleise der Militär-Eisenbahn ausgeführt worden. Wenn auch bei diesen Versuchen, mit Rücksicht auf die geringere Widerstandsfähigkeit des Gleises, nicht mit einer höheren Geschwindigkeit als 125 km in der Stunde gefahren werden durfte, so ist es doch möglich gewesen, innerhalb dieser Grenze weitere wertvolle Beobachtungen anzustellen und hierdurch die bereits gewonnenen Erfahrungen zu ergänzen, sowie die künftigen Versuche in zweckmäßiger Weise vorzubereiten. Durch die höchst dankenswerte Unterstützung der Königlichen Direktion der Militäreisenbahn war es möglich, mit den Versuchsfahrten im September vorigen Jahres zu beginnen und sie nach folgendem Arbeitsplane durchzuführen:

1. Messungen des Widerstandes der Motorwagen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten;
2. Messungen des Kraftverbrauches bei verschiedenen Belastungen und Geschwindigkeiten der Wagen;
3. Bestimmung der Verluste in der Leitungsanlage;

4. Ausführung von Bremsversuchen zur Erzielung der günstigsten Bremswirkung;
5. Ermittelungen über die zweckmäßigste Abänderung der Motorwagen zur Sicherung ihres ruhigen Laufes;
6. Beobachtungen über das Verhalten des Gleises während der Versuchsfahrten.

Ueber die Ausführung der Versuche und deren Ergebnisse ist Folgendes zu berichten:

Messung des Zugwiderstandes.

Der Gesamtwiderstand, welcher bei der Fortbewegung der Motorwagen zu überwinden ist, setzt sich zusammen aus ihrem Eigenwiderstand, hervorgerufen durch die Reibung der Zapfen und Lager; ferner aus dem Gleiswiderstand, welcher infolge der rollenden und gleitenden Reibung der Räder, der ungenauen Lage des Gleises und der Durchbiegung der Schienen entsteht, und endlich aus dem Luftwiderstand.

Zur Messung des Eigenwiderstandes der Wagen und des Gleiswiderstandes wurden zunächst die einzelnen Motorwagen, nach Einschaltung eines Zugkraftmessers in den Zugapparat, durch eine Lokomotive gezogen und zwar, um dabei den Luftwiderstand möglichst auszuschalten, mit nur geringer Geschwindigkeit. Bei dem großen Gewichte der Motorwagen und infolge des starken Wechsels der Zugkraft der Lokomotive bei jeder Treibradumdrehung, der bei geringer Fahrgeschwindigkeit besonders bemerkbar wird, ist es nicht gelungen, auf diese Weise eine stetige Zugkraftkurve zu erhalten, selbst dann nicht, wenn der Motorwagen an einen langsam fahrenden Güterzug angehängt wurde. Ein etwas günstigeres Ergebnis wurde erzielt, wenn die Wagen von der Drehstromlokomotive gezogen wurden; indessen zeigten auch die hierbei aufgenommenen Zugkraftkurven nicht die genügende Stetigkeit. Es mußten deshalb diese unmittelbaren Messungen des Zugwiderstandes aufgegeben werden und an deren Stelle die bereits bei den ersten Versuchsfahrten begonnenen, aber wegen Zeitmangel nicht durchgeführten Ablaufversuche wieder aufgenommen werden.

Der Ablauf der Wagen erfolgte entweder auf einer Gefällstrecke vom Zustande der Ruhe ab, oder von einem beliebigen Punkte aus, mit einer den Wagen erteilten Anfangsgeschwindigkeit. Bei den Versuchen mit geringen Anfangsgeschwindigkeiten machten sich alle die kleinen Unebenheiten der Strecke bei Aufzeichnung der Geschwindigkeitslinie bemerkbar, so daß es notwendig

wurde, die genaue Streckenlage durch ein Nivellement festzustellen und sie in Rechnung zu ziehen. Das Ergebnis der Profilaufnahme der Strecke Marienfelde—Mahlow, wo die Ablaufversuche vorgenommen wurden, ist auf Tafel 1 dargestellt. Die obere gebrochene Linie zeigt das mittlere Gefälle innerhalb der einzelnen Maßabschnitte von je 50 m Länge und zum Vergleich ist auch das ursprüngliche Längenprofil eingezeichnet. Die gefundenen verhältnismäßig nur geringen Unterschiede in den Höhenlagen des Gleises sind wohl meistens durch die Nacharbeiten und Kiesauffüllungen während der Versuchsfahrten entstanden. Wie aus dem ebenfalls aufgezeichneten Kurvenband ersichtlich, kommen auf der Versuchsstrecke Krümmungen von weniger als 2000 m Radius nicht vor, und der Zugwiderstand zeigte in den Krümmungen nur eine ganz geringe Zunahme, geringer als die Veränderlichkeit infolge der Verschiedenheiten in der Bettung und der Unregelmäßigkeiten im Gleise, so daß der Kurvenwiderstand bei der Berechnung außer Betracht bleiben konnte. Tafel 1

Zur fortlaufenden Aufzeichnung der Fahrgeschwindigkeit während der Versuche sind in den Motorwagen besondere Schreibwerke aufgestellt worden, die ähnlich wie Morseschreiber gebaut sind und elektrische Kontaktpunkte auf einen Papierstreifen niederschreiben. Zu jedem Apparat gehören drei Elektromagnete und drei Schreibhebel. Der erste Magnet, der in Verbindung mit einer an der Laufachse des Wagens angebrachten Kontaktscheibe steht, dient zur Aufzeichnung der Radumläufe, während der zweite mit einer Kontaktuhr verbunden ist, welche in Zwischenräumen von je 10 Sekunden einen Kontakt gibt, und diese Zeitabschnitte aufschreibt. Der dritte Kontakt wird durch Handtaster betätigt, die sich am Führerstand befinden und dazu dienen, das Anfahren des Wagens, das Ein- und Ausschalten des Stromes, den Beginn der Bremswirkung und die Nummern der Kilometersteine auf den Papierstreifen zu bezeichnen. Zur Erzielung möglichster Genauigkeit wurde für die Aufzeichnungen Indikatorpapier verwendet, auf dem Metallstifte in zackigen Linien schreiben. Mit Hülfe dieser Einrichtungen ist es gelungen, die Beziehungen zwischen Zeit und Weg, sowie die zwischen den Geschwindigkeitsänderungen und den Neigungsverhältnissen der Bahn mit außerordentlicher Genauigkeit festzustellen. Zur Kontrolle der Aufzeichnung für die einzelnen Fahrten ist außerdem in jedem Wagen ein registrierender Geschwindigkeitsmesser, Bauart Hausshälter und Grossmann aufgestellt worden.

Tafel 2 gibt ein Beispiel, wie der Widerstand der Wagen aus den Auslaufversuchen festgestellt worden ist. Aus der Geschwindigkeitslinie ist für jeden Zeitabschnitt von 10 Sekunden der Verzögerungsdruck = Masse mal Tafel 2

Verzögerung festgestellt und als Kurve aufgetragen. Dann sind die dem aufgenommenen Längenprofil entsprechenden Gefälldrücke = Wagengewicht mal Gefälle in $^0/_{00}$, als gebrochene Linie nach abwärts aufgetragen, und es ergibt der senkrechte Abstand dieser beiden Linien unmittelbar die Zugwiderstände. Nach Ausgleich der gebrochenen Linie der Gefälldrücke, entsprechend der aus den Geschwindigkeitsänderungen berechneten Linie des Verzögerungsdruckes, ergibt sich für den Zugwiderstand die auf der rechten Seite der Tafel gezeichnete stetige Linie. Die gebrochene und die stetige Linie des Gefälldruckes decken sich gut, was einen Beweis für die Zuverlässigkeit dieses Verfahrens gibt. Es würde keinen Zweck haben, das Längenprofil der Bahn in noch kleineren Abschnitten aufzunehmen oder die Zeitabschnitte für die Feststellung des Verzögerungsdruckes zu verkleinern, denn es darf nicht übersehen werden, daß die Genauigkeit der Messungen eine gewisse Grenze nicht überschreiten kann, die durch kleine Störungen infolge von Unregelmäßigkeiten im Gleise, durch kurze Windstöße während der Fahrt und dergleichen Vorkommnisse gezogen ist.

Zur Feststellung des Luftwiderstandes wurden Auslaufversuche mit
Tafel 3 höheren Anfangsgeschwindigkeiten ausgeführt, und auf Tafel 3 ist ein Beispiel der Feststellung des gesamten Zugwiderstandes dargestellt. Hier entfällt auf die einzelnen Zeitabschnitte von 10 Sekunden eine so große Weglänge, daß von der Berücksichtigung der kleinen Gefällabweichungen abgesehen und die einzelnen großen Abschnitte des Längenprofils mit gleichmäßigem Gefälle angenommen werden konnten. Diese Gefällabschnitte sind auf die Geschwindigkeitslinie übertragen und letztere ist innerhalb der Abschnitte ausgeglichen worden. Die sich aus der Summe des Verzögerungs- und Gefälldruckes ergebende Zugkraft ist auf der rechten Seite der Tafel als Funktion der Geschwindigkeit aufgetragen. Der während dieser Fahrt gemessene Luftdruck ist auf 9 qm Wagenstirnfläche berechnet und ebenfalls eingezeichnet. Ein Wagen mit einer ebenen Stirnfläche rechtwinklig zur Fahrrichtung von 9 qm Inhalt würde, mit gleicher Geschwindigkeit wie der Schnellbahnwagen bewegt, den gleichen Luftwiderstand erleiden, wie dieser. Ober-Ingenieur v. Loessel hat diese Fläche in seinem Werke: „Die Luftwiderstands-Gesetze“ als Aequivalentfläche bezeichnet. Die genaue Ermittlung der Aequivalentfläche ist mit großen Schwierigkeiten verknüpft und konnte für jeden der beiden Schnellbahnwagen nicht genau festgestellt werden. Für beide Schnellbahnwagen ist diese Fläche annäherungsweise auf 9 qm berechnet worden; diese Größe wird der Wirklichkeit nahezu entsprechen.

In gleicher Weise wie die vorbeschriebenen sind noch mehrere Auslaufversuche behandelt worden, und die ausgeglichenen Mittellinien für Zugwiderstand und Luftdruck sind für den Wagen A auf Tafel 4 und für den Wagen S auf Tafel 5 dargestellt. Die einzelnen Linien weichen allerdings von einander ab, immerhin liegen sie aber nahe genug beisammen, um daraus die erforderliche Antriebskraft für Schnellfahrzeuge entnehmen zu können. Die Zugwiderstandslinien des Wagens A zeigen für geringe Geschwindigkeiten eine beträchtliche Abweichung von dem Verlauf der Linien bei dem Wagen S, die sich zu einem Büschel zusammenschließen. Wie festgestellt wurde, rührt diese Erscheinung davon her, daß der Wagen A, als die ersten Ablaufversuche mit ihm vorgenommen wurden, ein halbes Jahr gestanden hatte und eine Reinigung der Lager und Zapfen nicht vorgenommen worden war. Es ist hieraus ersichtlich, wie groß der Einfluß des Zustandes der Lager und der Schmierung sein kann. Bei den späteren Fahrten mit größerer Geschwindigkeit konnte ein wesentlicher Unterschied zwischen den Wagen A und S bezüglich ihres Eigenwiderstandes nicht mehr festgestellt werden.

Tafel 4
Tafel 5

Die Mittellinien der auf Tafel 4 und 5 dargestellten Linienbündel sind auf Tafel 6 nebeneinander gezeichnet und lassen die verhältnismäßig nur geringen Abweichungen erkennen.

Tafel 6

Das Schlußergebnis der Auslaufversuche ist auf Tafel 7 zu ersehen, wo der Gesamtwiderstand der Wagen, ferner der auf 9 qm berechnete Luftwiderstand, der daraus abgeleitete Rollwiderstand und schließlich der zur Ueberwindung des gesamten Widerstandes erforderliche Kraftverbrauch in Pferdestärken eingetragen sind. Die punktierten Fortsetzungen der Linien für die höheren Geschwindigkeiten dürften zutreffen, werden aber bei den weiteren Versuchen noch genauer zu bestimmen sein.

Tafel 7

Der Reibungswiderstand der Motorwagen ist beim Beginn der Bewegung ein besonders großer, entsprechend der Reibungsziffer der Ruhe, fällt dann aber sofort und beträgt bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 5 km in der Stunde nur noch 130—140 kg, also etwa 1,5 kg für 1000 kg Wagengewicht. Bei weiterer Geschwindigkeitszunahme wächst der Zugwiderstand langsam an und dabei zeigt sich ein wesentlicher Unterschied, je nachdem die Messungen beim Beginn der Versuche oder nach längerem Laufe der Wagen vorgenommen wurden. Im letzten Falle erhielt man geringere Werte als im ersten, was jedenfalls der während der längeren Fahrten eintretenden Erwärmung der Zapfen und Lager und der dadurch

bedingten Erniedrigung der Reibungsziffer zuzuschreiben ist. Nach den sehr eingehenden Versuchen des Oberingenieurs Lasche über die Reibungsverhältnisse in den Lagern (Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1902, Nr. 50—52) nimmt die Reibungsziffer für die Lager- und Zapfenreibung unter sonst gleichen Verhältnissen mit zunehmender Erwärmung der Lager ab und steht innerhalb gewisser Grenzen in umgekehrtem Verhältnis zur Lagertemperatur. Bei der Erwärmung der Lager von 20 auf 40 ° C. würde die Reibungsziffer nahezu auf die Hälfte des ursprünglichen Wertes herabgehen. Die rollende und gleitende Reibung der Räder auf den Schienen wächst zunächst mit der Fahrgeschwindigkeit und scheint sich immer langsamer einem Höchstwert zu nähern, der im Verhältnis zum Gesamtwiderstand bei großer Fahrgeschwindigkeit nicht von Bedeutung ist.

Zur Messung des Luftdruckes auf die Umfassungswände der Wagen dienten die im Innern derselben angebrachten und schon in dem früheren Berichte beschriebenen U-förmigen Glasröhen. An jeder Stirnseite des Wagens A wurde außerdem ein besonderer, von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft gebauter Luftdruckmesser angebracht. Dieser Apparat, der in nebenstehender Abbildung 1 dargestellt ist, besteht aus einer Blechscheibe a, welche auf der durch Kugellager geführten Spindel b befestigt ist und durch eine Spiralfeder in der Richtung der Fahrt gehalten wird. Der während der Fahrt gegen die Scheibe gerichtete Luftdruck drückt die Spiralfeder zusammen und das durch eine Hebelübersetzung auf einen Maßstab übertragene Maß dieser Zusammendrückung ergibt unmittelbar die Größe des Luftdruckes gegen die Scheibenfläche. Zwischen der Scheibe und der Spindel ist ein Kugelgelenk eingeschaltet, welches dazu dient, die Scheibe nicht nur rechtwinkelig, sondern auch in beliebiger anderer Neigung gegen die Fahrrichtung festzustellen. Es war beabsichtigt, Hohlkörper von verschiedener Form an der Spindel anzubringen, um zu ermitteln, welche Größe der Luftdruck bei verschieden gestalteten Flächen annimmt. Die Versuche mußten indessen auf die Zylinderform beschränkt bleiben, weil die verfügbare Zeit zu weiteren Versuchen nicht ausreichte.

Um die während der Versuche herrschende Luftströmung in Rechnung ziehen zu können, was bei den früheren Versuchen nicht geschehen ist, wurden Windrichtung und Windgeschwindigkeit an jedem Tage vor Beginn und nach Beendigung der Versuchsfahrten beobachtet. Zu diesem Zwecke waren in hinreichender Entfernung von dem Wagenschuppen in Marienfelde eine empfindliche Windfahne und ein Anemometer aufgestellt.

Die Aufzeichnungen des Luftdruckes im Wagen erfolgten gleichzeitig mit den übrigen Beobachtungen in Zwischenräumen von 10 zu 10 Sekunden auf das Zeichen einer elektrischen Klingel hin, die von einer gut regulierten

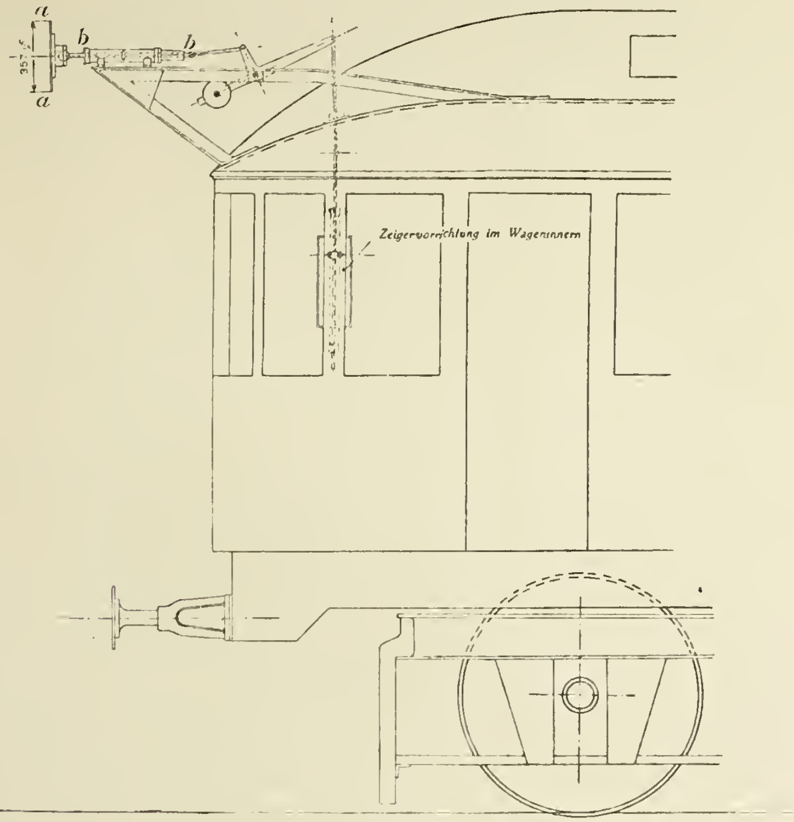


Abb. 1.

Uhr aus in Tätigkeit gesetzt wurde. Die Messung des Luftdrucks unmittelbar an der Stirnwand in der im ersten Bericht beschriebenen Weise ergab die gleichen Werte wie bei den früheren Versuchen, wie die auf den Tafeln 10, 11, 12 in die Geschwindigkeitsdiagramme eingetragenen Luftdrucklinien zeigen. Auf die Ergebnisse der Messungen hat jedoch die herrschende Windrichtung und Windstärke einen nicht zu vernachlässigenden Einfluß. Beträgt z. B. die Fahrgeschwindigkeit 100 km in der Stunde und herrscht ein der Fahrrichtung entgegengesetzter Wind von nur 5 m Geschwindigkeit in der Sekunde oder rund 18 km in der Stunde, so beträgt die Luftströmung auf den Wagen bezogen 118 km in der Stunde, und nach der nachstehend angegebenen Formel würde der Luftdruck rund 72 kg auf 1 qm ausmachen, während bei

Tafel 10, 11, 12

der Annahme, daß der Wagen bei vollständiger Windstille fährt, sich nur ein Druck von 52 kg auf 1 qm ergeben würde. Diese Tatsache ist in den Auftragungen auf den Tafeln 8 u. 9 zu erkennen. Die oberen Abbildungen stellen die unmittelbaren Ablesungen ohne Berücksichtigung des Winddruckes dar und zwar gelten bei allen Auftragungen für die Fahrrichtung Marienfelde—Zossen die Punkte und für die entgegengesetzte Fahrrichtung die Kreuzchen. Besonders bei den auf Tafel 9 aufgetragenen Messungen vom 15. Oktober, an dem die Windgeschwindigkeit 5,8 m in der Sekunde betrug, ist der Einfluß des Windes deutlich zu ersehen. Die nach der Formel

Tafel 8 u. 9

$$p = 0{,}0052\ V^2,$$

worin p den Luftdruck auf 1 qm ebener zur Fahrrichtung senkrechter Fläche und V die Geschwindigkeiten in km in der Stunde bedeutet, aufgetragene Linie verläuft in der Mitte zwischen den einzelnen Luftdruckpunkten der Hin- und Rückfahrt. Die Versuchsstrecke zerfällt in ihrer Hauptrichtung in drei ziemlich geradlinige Teile, und die in die Fahrrichtung fallenden Komponenten der Windgeschwindigkeit betrugen für den 1. Teil der Strecke ± 10 km, für den 2. Teil ± 8 km, für den 3. Teil ± 4 km in der Stunde. In der unteren Abbildung sind die Punkte der oberen Auftragungen, entsprechend diesen Zuschlägen, verschoben. Die unmittelbaren Ablesungen am 13. Oktober, die auf Tafel 8 dargestellt sind, ergeben geringere Abweichungen von der Luftdruckkurve, weil die Windgeschwindigkeit an diesem Tage nur 2,8 m in der Sekunde betrug.

Aus dieser Berechnung des Luftdrucks hat sich eine kleine Abänderung der bei den früheren Versuchen gefundenen Formel für den Luftwiderstand $p = 0{,}0054\ V^2$ ergeben. Der genaue Wert für p beträgt $0{,}0052\ V^2$.

Bei Messungen mit dem in Abbildung 1 dargestellten Luftdruckmesser stimmte der auf die senkrecht zur Fahrrichtung stehende Scheibe ausgeübte Luftdruck, berechnet für 1 qm ebene Fläche, im Allgemeinen mit den Ablesungen an den Wasserstandsgläsern überein; indessen stand der Zeiger der Scheibe infolge der Erschütterungen des Wagens nicht so ruhig, wie die Flüssigkeit in den Wasserstandsgläsern. Die Messung mit letzteren ist daher zuverlässiger und wurde deshalb bei allen Versuchsfahrten angewendet.

Wird die zur Messung des Druckes bestimmte Scheibe schräg gegen die Fahrrichtung gestellt, wie in Abb. 2 angedeutet, so vermindert sich der gemessene Druck ungefähr im Verhältnis der zur Fahrrichtung senkrecht stehenden Projektion der Scheibenfläche zu dieser selbst.

Wenn an Stelle der Scheibe ein Zylinder von dem Durchmesser d und der Länge l aufrechtstehend angebracht wurde, so ergaben die Messungen nur den gleichen Druck, wie er einer ebenen, senkrecht zur Fahrrichtung stehenden Fläche von der Größe 0,7 d · l entsprechen würde. Dies Ergebnis steht in Einklang mit den Angaben von Moormann im Centralblatt der Bauverwaltung vom 22. November 1902 No. 931, wo auf Grund vorgenommener

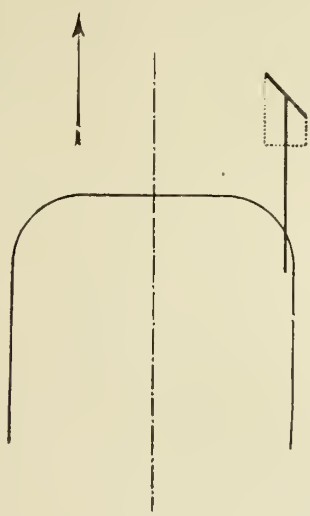


Abb. 2.

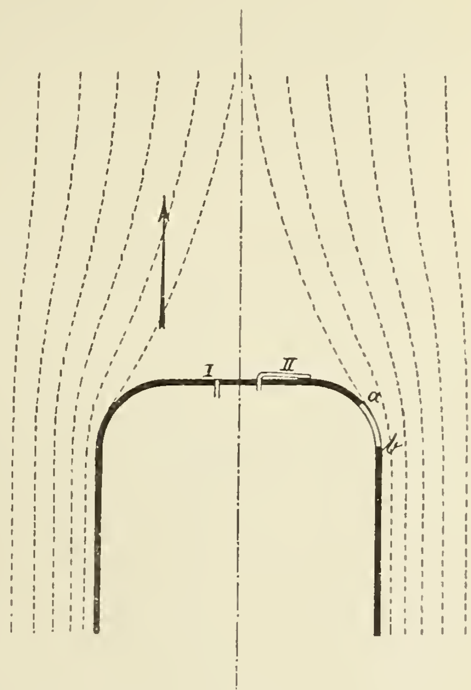


Abb. 4.

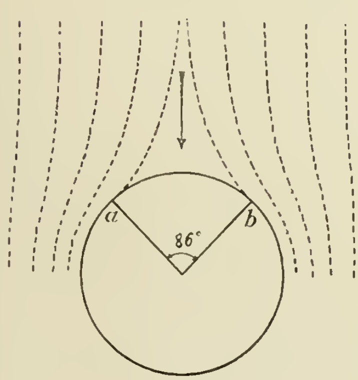


Abb. 3.

Messungen angegeben ist, daß der Winddruck auf einen runden Schornstein (Abb. 3) nur auf den durch einen Winkel von 86° eingeschlossenen Teil a b des Zylindermantels komme. Dieser Teil a b ist annähernd gleich $^{7}/_{10}$ des Durchmessers.

Hiermit stimmen auch die Beobachtungen des Verhaltens der Luft an den abgerundeten Ecken des Wagens A überein. Wie in Abb. 4 angedeutet ist, wurde ein Rohr II vor der Stirnwand des Wagens angebracht. Das damit verbundene Wasserstandsglas zeigte dieselbe Druckhöhe, wie das Rohr I, solange die Mündung des ersteren noch vor der ebenen Fläche der Stirnwand lag; sobald sie aber nun ein geringes Maß seitlich darüber hinaus-

reichte, verminderte sich der Luftdruck wesentlich, bis bei weiterer Verlängerung des Rohres schließlich eine Saugwirkung eintrat. Hierbei sei eine interessante Beobachtung erwähnt, die zufälligerweise gemacht wurde. In der Abrundung zwischen Stirn- und Seitenwand des Wagens A fehlte eine Fensterscheibe, und die so entstandene Oeffnung a b Abb. 4 wurde durch eine Preßspahntafel geschlossen. Bei der Fahrt in der Richtung des Pfeiles fiel die Preßspahntafel heraus, aber nicht nach innen, wie man hätte annehmen können, sondern nach außen, und die Beobachter, die vor den an der hinteren Endwand des Wagens angebrachten Wasserstandsgläsern standen, bemerkten plötzlich ein Fallen des Wasserstandes, das sich schließlich als eine Folge der im Wagen eingetretenen Luftverdünnung erwies. Die Luft strömte nicht durch die Fensteröffnung in den Wagen hinein, sondern an der Abrundung entlang, wie durch punktierte Linien angedeutet ist, und übte eine Saugwirkung aus. Die hinter der freien Fensteröffnung stehenden Teilnehmer an der Fahrt konnten deshalb keine Zugwirkung spüren. Die gleiche Beobachtung wurde auch schon früher durch die in den Abrundungen angebrachten Rohre gemacht. Beim Wagen S wurden an der vorderen Ecke in der in Abb. 5 angedeuteten Weise Rohre angebracht, deren Mündungen mit der Ecke scharf abschnitten und dicht übereinander lagen. Das Rohr II zeigte starke Saugwirkung, während das Rohr III den gleichen Druck wie die Oeffnung I in der Mitte der Stirnwand erhielt. An der Ecke herrschte daher ein starkes Abströmen der Luft nach der Seite hin und der volle Luftdruck kam nur auf die zur Fahrrichtung senkrecht stehende Fläche der Stirnwand. Auch ein mit der Mündung nach vorn gerichtetes Rohr, das in geringer Entfernung vor der ersten Abschrägung, ungefähr an der mit IV bezeichneten Stelle, sich befand, zeigte nicht den vollen auf die mittlere Stirnwand ausgeübten Druck, was ebenfalls auf die in punktierter Linie angedeutete Abströmung der Luft schließen läßt.

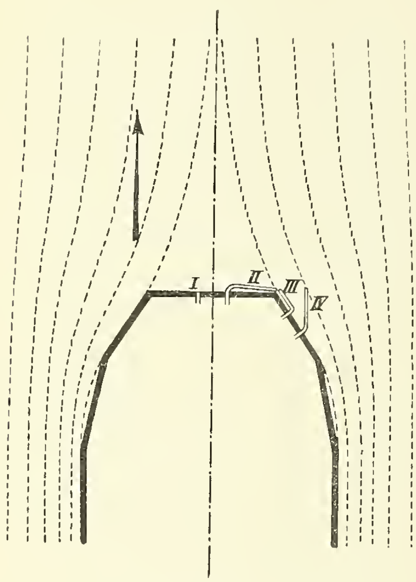


Abb. 5.

Ganz besonderer Wert wurde bei den diesjährigen Versuchen darauf gelegt, die Druckverhältnisse der Luft in einiger Entfernung vor und hinter dem Wagen zu beobachten, was mittels der bereits im ersten Bericht erwähnten vorgestreckten Rohre, die mit dem einen Schenkel der Wasserstands-

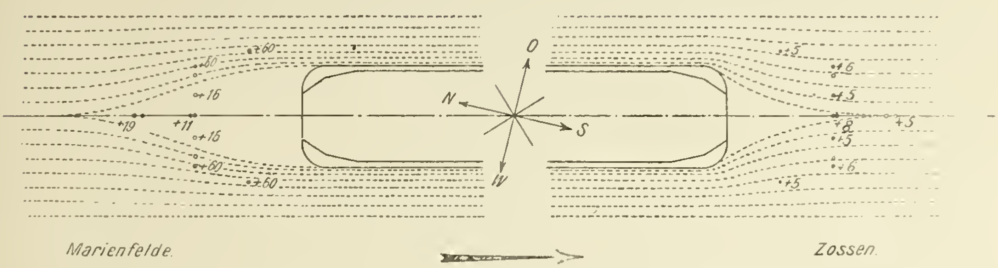


Abb. 6.

gläser luftdicht verbunden waren[1], geschah. An der nach vorn gerichteten Mündung der 3—5 m weit vorgestreckten Rohre zeigte sich der gleiche Luftpruck, wie unmittelbar vor der Stirnwand, weil sich vor jeder Rohrmündung ebenfalls ein Hügel von gepreßter Luft bildete. Es ergab sich der gleiche Luftdruck auch dann noch, wenn die Rohrmündungen seitlich von der Längsachse des Wagens lagen. Um zu ermitteln, wie weit sich die Luftverdichtung vor der Stirnwand des fahrenden Wagens erstreckt, wurden die Enden der Rohre nach rückwärts gebogen. Die Rohre wurden bis zu einer Entfernung von 4,75 m von der Stirnwand und seitlich bis 1,85 m von der Längsachse des Wagens vorgestreckt. Bei der entgegengesetzten Fahrrichtung dienten diese Rohre dazu, das Verhalten der Luft hinter dem Wagen zu ermitteln. In Abb. 6 sind die Umrisse beider Wagen und die verschiedenen Lagen der Rohrmündungen durch kleine Kreise und Punkte angedeutet; erstere gelten für den Wagen A, letztere für den Wagen S. Die Zahlen deuten den Luftdruck und die Luftverdünnung an. Die Zahlen sind auf eine Geschwindigkeit von 110 km in der Stunde umgerechnet, indem die bei der Geschwindigkeit V abgelesene Druckhöhe mit $\frac{110^2}{V^2}$ multipliziert wurde. Auch hierbei ist Windrichtung und Windgeschwindigkeit in der schon beschriebenen Weise berücksichtigt.

Endlich wurden die Rohre auch nach oben bis zur Dachkante und darüber hinaus bis zu einer Höhe von 6,3 m über Schienenoberkante geführt.

In Abb. 7 ist die verschiedene Lage der Rohre angedeutet. Wie zu erwarten war, zeigte sich bei Rohr I, über dessen Oeffnung hinweg die Luft abströmen muß, Saugwirkung. Bei dem bis zur Höhe von 6,3 m über Schienenoberkante hinaufgeführten Rohre ergab sich der gleiche Luftdruck wie unmittelbar vor der Stirnwand des Wagens, solange die Rohrmündung in Bezug auf die Fahrrichtung nach vorn gerichtet war. Bei rückwärts gerichteter Mündung wurde Saugwirkung bis zu 20 mm Wassersäule beobachtet. Rohre, die bis zu etwa 4,8 m Höhe über Schienenoberkante geführt waren, zeigten ebenfalls gemäß dem Vorstehenden Druck- oder Saugwirkung, ergaben aber erheblich geringere Werte.

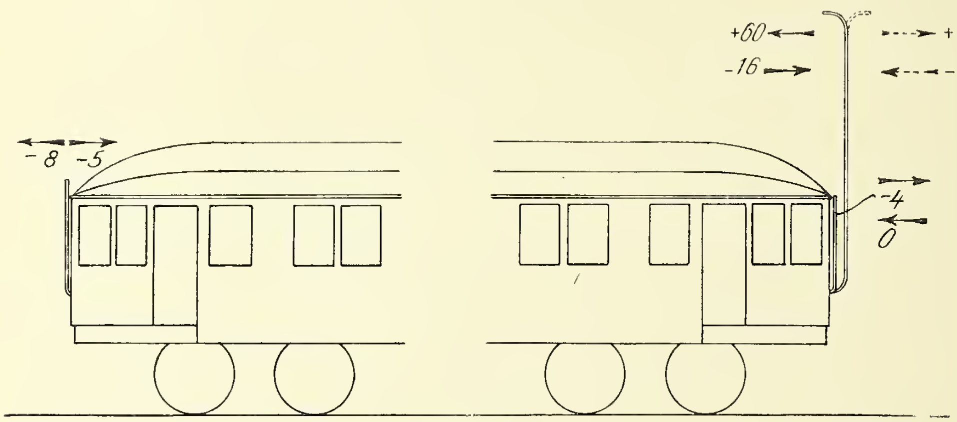


Abb. 7.

Es sei noch erwähnt, daß an den Enden des Wagens A eine parabelförmige Spitze aus Eisenblech angebracht wurde, wie in Abb. 8 dargestellt ist, um zu ermitteln, ob hierdurch der Luftwiderstand vermindert werden könnte. Bei Anwendung dieser Spitzen wurde zwar ein geringerer Kraftverbrauch festgestellt; da diese Vorrichtung aber nur einen Teil der Stirnfläche deckte und die Fahrgeschwindigkeit 100 km nicht wesentlich überschritt, so war der Erfolg kein bedeutender.

Aus den Versuchsergebnissen läßt sich annähernd ermitteln, welche Bewegungen die Luft im Verhältnis zum Wagen macht. In einer Entfernung von etwa $4^1/_2$ m vor der Stirnwand scheint die Luftverdichtung aufzuhören, während sich unmittelbar vor der Stirnwand bis zu deren Abrundung oder

Abschrägung ein Hügel von gepreßter Luft von überall gleichem Drucke bildet. An der Rückwand des Wagens tritt keine oder nur eine ganz unerhebliche Saugwirkung ein, und die einzelnen Punkte in Abb. 6 zeigen, daß hinter dem Wagen ein ziemlich großer Raum entsteht, in dem weder Luftverdichtung noch Luftverdünnung und auch nur geringe Luftbewegung vorhanden ist. Diese Beobachtung wird durch die Tatsache bestätigt, daß bei trockenem Wetter dem letzten Wagen eines schnell fahrenden Eisenbahnzuges eine Staubwolke

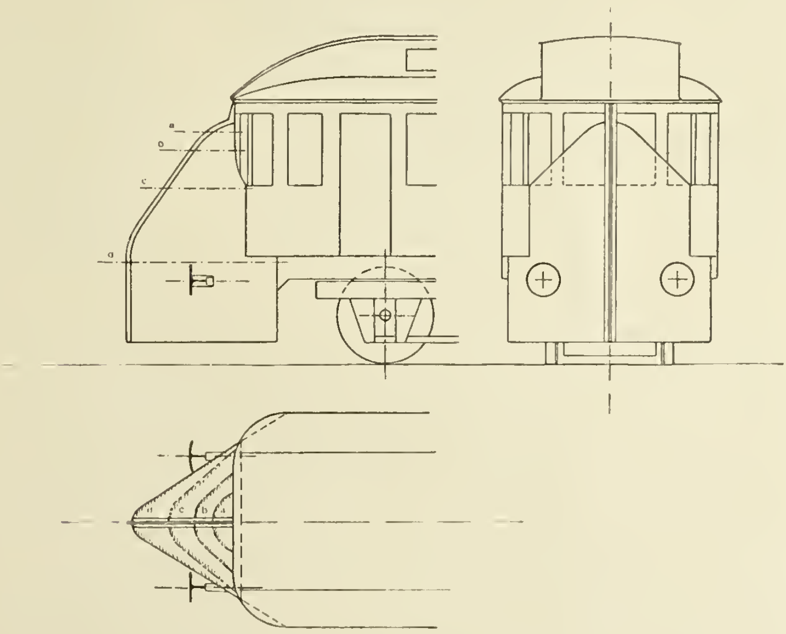


Abb. 8.

nicht unmittelbar, sondern erst in einiger Entfernung folgt. Die durch die punktierten Linien in Abb. 6 angedeutete wahrscheinliche Luftbewegung stimmt auch überein mit den Ergebnissen sehr eingehender Versuche über das Vorbeiströmen von Luft an Widerstand gebenden Flächen, die Georg Wellner, Professor der technischen Hochschule in Brünn, in seiner Abhandlung „Der dynamische Flug" in der „Festschrift der K. K. technischen Hochschule in Brünn zur Feier ihres 50jährigen Bestehens" 1899 veröffentlicht hat. In den Abbildungen 9, 10, 11 sind einige der von ihm gefundenen Linien dargestellt, nach denen die strömende Luft an Widerstand gebenden Flächen vorbeistreicht.

Auch bei diesen Versuchen bildete sich vor der Fläche ein Hügel von gepreßter Luft und hinter ihr ein mit ruhender Luft erfüllter Raum.

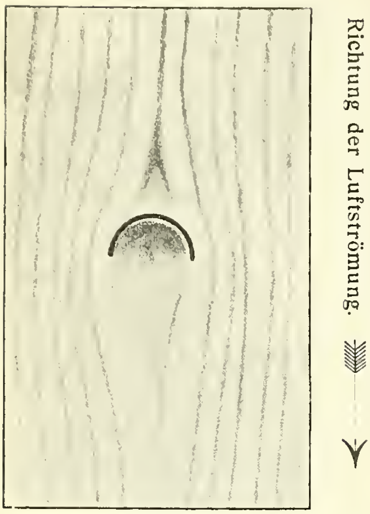


Abb. 9

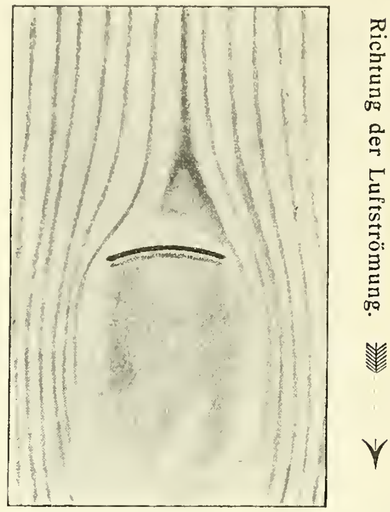


Abb. 10.

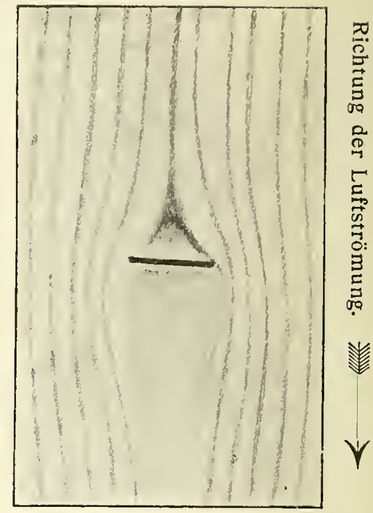


Abb. 11.

Zum Schluß sei noch erwähnt, daß auch der Luftdruck beobachtet wurde, den der vorbeifahrende Wagen auf eine eigens zu diesem Zwecke in einem Abstande von 2,2 m von der Gleismitte aufgestellte Bretterwand von 20 m Länge und 5 m Höhe verursachte. Die Wand war an verschiedenen Stellen durchbohrt und die Bohrungen waren, ebenso wie es für die Luftdruckmessungen auf die Wagenwände geschehen ist, mit Wasserstandsgläsern in Verbindung gebracht. Es wurde beim Vorüberfahren eines Wagens mit 120 km Geschwindigkeit ein Druck von rund 12—14 kg auf 1 qm der Wand beobachtet.

In Anbetracht, daß bei hohen Fahrgeschwindigkeiten der Luftwiderstand den größten Teil des Gesamtwiderstandes der Fahrzeuge ausmacht, ist es notwendig, die äußere Form der Wagen so zu gestalten, daß der Luftwiderstand möglichst vermindert wird. Nach den Ergebnissen der vorstehend beschriebenen Versuche würde es am zweckmäßigsten sein, wenn die Stirnwand des Wagens die Form eines möglichst spitzen Paraboloides erhielte. Dies läßt sich praktisch nicht durchführen, wegen Einrichtung des Führerstandes und Anbringung der Zughaken und Buffer; auch würde die Uebersichtlichkeit der Strecke beeinträchtigt werden. Es erscheint deshalb zweckmäßiger, den vorderen Teil der Stirnfläche zylinderisch zu gestalten, um die Anbringung von Fenstern zu ermöglichen. Die Zylinderwandung würde in den Punkten a

und b in die ebenen Flächen a c und b d übergehen. Nach Abb. 3 auf Seite 11 würde die Länge des Zylindermantels durch einen Winkel von etwa 86 ° einzuschließen sein. Der Anschluß der Seitenwände in den Punkten c und d würde in Abrundungen erfolgen müssen. Der Abschluß nach oben würde in ähnlicher Weise wie bei den vorhandenen Wagen herzustellen sein. Eine Abänderung der Form der Seitenwände ist nicht erforderlich, da auf sie nur bei herrschendem Seitenwinde ein größerer Druck ausgeübt wird, der aber den Gesamtwiderstand des Fahrzeuges nicht wesentlich erhöhen kann. Werden Anhängewagen mitgeführt, so müssen diese unter sich und mit dem Motorwagen durch Faltenbälge verbunden werden.

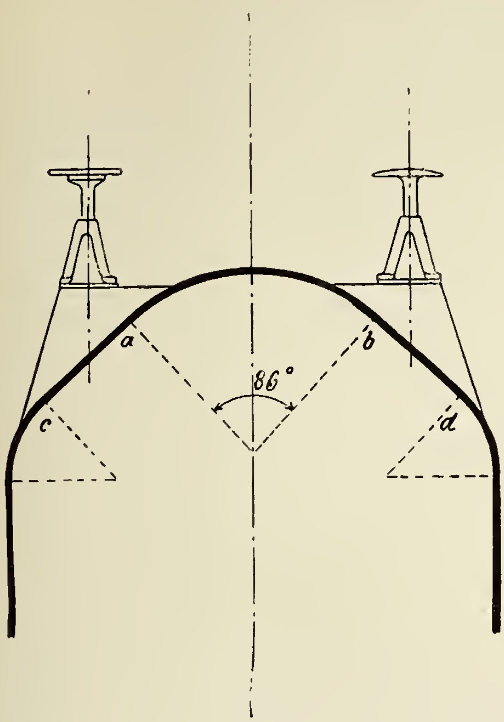


Abb. 12.

Messung des Kraftverbrauches.

Die Messungen des Kraftverbrauches, der Stromstärke und der Spannung erfolgten bei den früheren Versuchen im Kraftwerk Oberspree, was den Nachteil hatte, daß der Widerstand der schwach bemessenen Zuleitung vom Kraftwerk bis zum Speisepunkte der Fahrleitung mit zur Anrechnung kam. Zur Beseitigung dieser Fehlerquelle wurde bei den neuen Versuchen eine eigene Meßstation am Speisepunkt der Versuchsstrecke bei Marienfelde errichtet und mit solchen Präcisionsinstrumenten ausgestattet, welche von der Periodenzahl und dem Phasenwinkel des Stromes nahezu unabhängig sind. Dies konnte vornehmlich dadurch erreicht werden, daß das Ampère- und Wattmeter unmittelbar in die Hochspannungsleitung eingeschaltet und die Verwendung von Stromwandlern vermieden wurde. In den Wagen wurden die Instrumente an die gleiche Phase wie am Speisepunkt angeschlossen. Die Ablesungen fanden am Speisepunkt in Zeitabschnitten von je zehn

Sekunden, in den Wagen meist nach je 20 Sekunden statt, und es wurden hierbei Schlaguhren benutzt, welche in Zwischenräumen von je zehn Sekunden einen elektrischen Stromschluß auslösten und eine oder mehrere Signalglocken ertönen ließen. Die Zeitangabe der Uhr am Speisepunkt wurde mit derjenigen in den Wagen vor und nach den Versuchen durch den Fernsprecher genau verglichen. Es hat sich herausgestellt, daß die Ablesungen in je 20 Sekunden für die genaue Bestimmung der Schaulinien bei der wechselnden Belastung der Motoren nicht genügen und mindestens 10-sekundliche Ablesungen erforderlich sind. Der Dienst der Beobachter war im letzteren Falle schon ziemlich anstrengend und eine weitere Verkürzung der Zeiten zwischen den einzelnen Beobachtungen konnte bei der Länge der Versuchsdauer ohne Schichtwechsel nicht mehr stattfinden, obgleich für jedes Instrument ein besonderer Beobachter vorhanden war. Auf die Messungen am Speisepunkt, welche wegen der festen Aufstellung der Instrumente die Grundlage zu allen weiteren Berechnungen bilden sollten, wurde das größte Gewicht gelegt. Leider versagte während eines Teiles der Versuche diese Meßstation, weil infolge der feuchten Herbstwitterung die Isolation nicht genügte und kleine Stromübergänge die Angabe der Instrumente beeinträchtigten. Obgleich die Isolation nach Möglichkeit verbessert wurde, so zeigten die weiteren Erfahrungen doch, daß bei feuchtem Nebel- und Regenwetter genaue Messungen überhaupt nicht ausführbar sind. Die Messungen am Speisepunkt und in den Wagen stimmten in diesen Fällen so wenig überein, daß sie für die Berechnungen nicht zu benutzen waren. Ungeachtet dieser Schwierigkeiten konnte eine Reihe von brauchbaren Messungen ausgeführt werden, Tafel 10, 11, 12 von deren Ergebnissen in den Tafeln No. 10, 11 u. 12 einige Beispiele zeichnerisch niedergelegt sind. Die Schaulinien von Geschwindigkeit, Strom, Spannung und Belastung wurden planimetriert, und die so gefundenen Mittelwerte sind nach Fahrtengruppen auf Seite 20 und 21, für Anfahrten und Dauerfahrten getrennt, zusammengestellt. Das Fehlen einzelner Zahlen in diesen Zusammenstellungen beruht auf Unbrauchbarkeit der bezüglichen Messungen.

Zu diesen Meßergebnissen ist Folgendes zu bemerken:

Die Anfahrten wurden mit Rücksicht auf die geringe Belastungsfähigkeit der Stromerzeuger-Dampfmaschine bei den geringen Umdrehungszahlen (Periodenzahlen) wieder nur mit sehr kleiner Beschleunigung ausgeführt, und ist daher auch der Kraftverbrauch ein verhältnismäßig kleiner und der Anfahrweg beträchtlich.

Vergleicht man den elektrischen Kraftverbrauch für die Anfahrt mit dem theoretischen an den Laufrädern, berechnet aus der Beschleunigungsarbeit und der mittleren Leistung für Luft- und Reibungswiderstand, so ergibt sich wie bei den frühern Versuchen ein Wirkungsgrad von im Mittel 45 %. Dieser geringe Wirkungsgrad beruht hauptsächlich auf dem Kraftverlust in den Anlaßwiderständen der Wagenmotoren, ist aber für eine Schnellbahn von wenig Belang, da die Zahl der Anfahrten im Vergleich zur ganzen Fahrzeit immer nur sehr gering sein wird.

Für die Dauerfahrten wurde unter Zugrundelegung des von den Elektrizitätsgesellschaften angegebenen Wirkungsgrades von Transformatoren und Motoren der Kraftverbrauch und die Zugkraft an den Laufrädern aus den an den Stromabnehmern gemessenen Werten berechnet, und so wurden Zahlen erhalten, welche ein wenig höher liegen, als sie unter gleichen Verhältnissen die Ablauflinien ergeben. Die Ursache hierfür zu finden, ist bisher nicht gelungen. Wahrscheinlich dürfte bei der Treibung der Wagen durch die Motoren eine kleine zusätzliche Arbeit notwendig sein, welche beim Ablauf der Fahrzeuge nicht vorhanden ist. Auch könnte der angegebene Wirkungsgrad der elektrischen Wageneinrichtung, welcher für die niedrigen Periodenzahlen und Belastungen durch Rechnung gefunden wurde, mit dem tatsächlichen nicht ganz übereinstimmen. Wenn später noch zahlreichere Fahrten mit höherer Geschwindigkeit vorgenommen werden, wird es möglich sein, diesen Unterschied genauer zu bestimmen und seine Ursache zu ergründen.

Zusammenstellung der elektrischen und mechanischen

im Herbst

Anzahl der Fahrten	Anzahl der arbeitenden Motoren	Gesamt-Zuggewicht Tonnen	Weg m	in einem mittleren Gefälle ‰	Mittlere Beschleunigung m/sek.	Endgeschwindigkeit km/Stdn.	Perioden-Zahl
Wagen A:							
5	2	89,5	4430	0,30	0,08	88,6	20,6
2	4	89,5	3950	0,84	0,12	97,5	20,8
6	2	89,5	7930	0,54	0,07	106	24
2	4	89,5	4550	0,57	0,11	102,5	25
3	4	188,4	8700	0,61	0,07	113,3	25
Wagen S:							
9	2	77,9	2744	1,11	0,13	91,2	20,8
9	2	77,9	4294	0,68	0,12	105,6	24
6	4	159,6	5583	0,60	0,11	116,7	25
1	4	193,4	8300	—	0,07	115	25

Zusammenstellung der elektrischen und mechanischen

im Herbst

Anzahl der Fahrten	Anzahl der arbeitenden Motoren	Gesamt-Zuggewicht Tonnen	Mittlere Geschwindigkeit	Periodenzahl	Messungen am Speisepunkt Amp.	Messungen am Speisepunkt Volt	Messungen am Speisepunkt KW	an den Stromabnehmern des Wagens Amp.	an den Stromabnehmern des Wagens Volt	an den Stromabnehmern des Wagens KW
Wagen A:										
4	2	89,5	95	20,6	43,4	5835	—	42,1	5543	246
2	4	89,5	96	20,8	—	5450	—	64,0	5190	247
5	2	89,5	107	24	45,6	6460	—	43,8	6089	302
2	4	89,5	113	25	—	6830	—	71,5	6390	365
2	4	188,4	117	25	84,7	6647	694	—	—	644
Wagen S:										
8	2	77,9	92	20,8	36,7	5781	—	34,5	5619	197
8	2	77,9	106	24	39,2	6447	—	36,8	6162	283
4	4	159,6	117	25	69,2	6937	566	65,0	6685	499
1	4	193,4	118	25	81,5	6700	713	75	6425	680

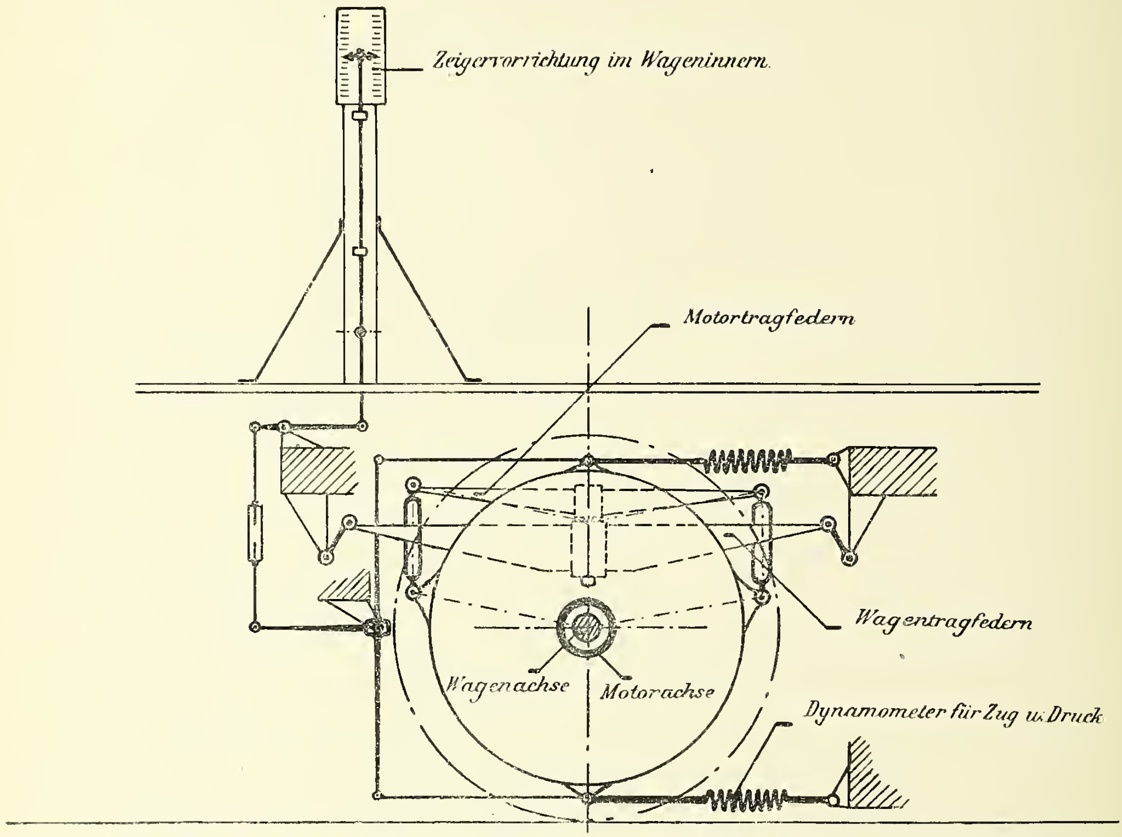
Mittelwerte für die Anfahrten der Schnellbahnwagen 1902.

Messungen am Speisepunkt			Messungen an den Stromabnehmern des Wagens			PS an den Stromabnehmern	Bemerkungen.
Amp.	Volt	KW	Amp.	Volt	KW		
51,2	5662	—	50,0	5376	358	487	Wagen allein.
—	5165	—	74,2	4835	446	606	„ „
51,1	6383	—	50,1	6024	407	553	„ „
—	6740	—	76	6360	535	727	„ „
101	6253	880	—	—	813	1105	3 vierachsige Personenwagen angehängt.
52,6	5472	—	51,8	5257	394	535	Wagen allein.
51,1	6290	—	50,5	5950	434	590	„ „
108,2	6237	1010	105,6	5938	928	1261	2 vierachsige Personenwagen angehängt.
110	6140	988	107	5450	855	1160	3 vierachsige Personenwagen angehängt.

Mittelwerte für die Dauerfahrten der Schnellbahnwagen 1902.

PS an den Stromabnehmern	Wirkungsgrad der elektrischen Einrichtungen der Wagen %	PS an den Laufrädern	Zugkraft an den Laufrädern kg	Bemerkungen.
335	82,7	277	788	Wagen allein.
336	69,7	234	660	„ „
410	86,4	354	892	„ „
496	79,1	392	938	„ „
875	87,1	762	1760	3 vierachsige Personenwagen angehängt.
268	84	225	660	Wagen allein.
385	86,5	333	850	„ „
679	85,5	580	1330	2 vierachsige Personenwagen angehängt.
925	87,7	810	1840	3 vierachsige Personenwagen angehängt.

Es ist ferner versucht worden, den Kraftverbrauch während der Fahrt unmittelbar durch Messung des Drehmomentes festzustellen, das die Motoren auf die Treibräder übertragen. Zu diesem Zwecke wurde an dem einen Motor des Wagens A eine von der Allgemeinen Elektricitäts-Gesellschaft gebaute sinnreiche Vorrichtung angebracht, die in Abb. 13 dargestellt ist. Der Motor wird nicht durch starre Glieder, sondern durch Spiralfedern festgehalten, deren Beanspruchung ein Maß ergibt für das vom Motor auf seine Aufhängepunkte



NB. Die schraffierten Teile sind feste Punkte am Wagenuntergestell resp. Drehgestell.
Abb. 13.

ausgeübte Drehmoment. Dieses Moment ist gleich groß aber entgegengesetzt dem auf die Treibachse übertragenen Drehmomente. Die Längenänderung der Spiralfedern wird durch eine Hebelübersetzung auf einen Zeigerapparat mit Schreibwerk und Uhr im Wagen übertragen. Die durch diesen Apparat festgestellte Verdrehung des Motors gibt ein Maß für das Drehmoment, dessen Größe durch Eichung mit Gewichten bestimmt wurde. Die Aufhängung des Motors mußte hierbei etwas abgeändert werden, damit sich dieser nicht um den ursprünglichen Stützpunkt der Motortragfedern, sondern nur um seinen

Mittelpunkt drehen kann, weil sonst eine ungleiche Übertragung der Inanspruchnahme der Spiralfedern auf den Zeiger möglich gewesen wäre. Bei dem Gebrauch der Meßvorrichtung zeigte sich, daß die Schaulinien nur bei Vorschaltung eines Widerstandes in den sekundären Teil der Motoren scharf genug aufgezeichnet würden, während ohne einen solchen Widerstand starke Schwankungen des Zeigers und des Schreibstiftes eintraten und eine genaue Mittellinie sich nicht mehr feststellen ließ. Für die Messung der geleisteten Arbeit ist die Vorschaltung eines Widerstandes ohne Belang, nur ist hierbei

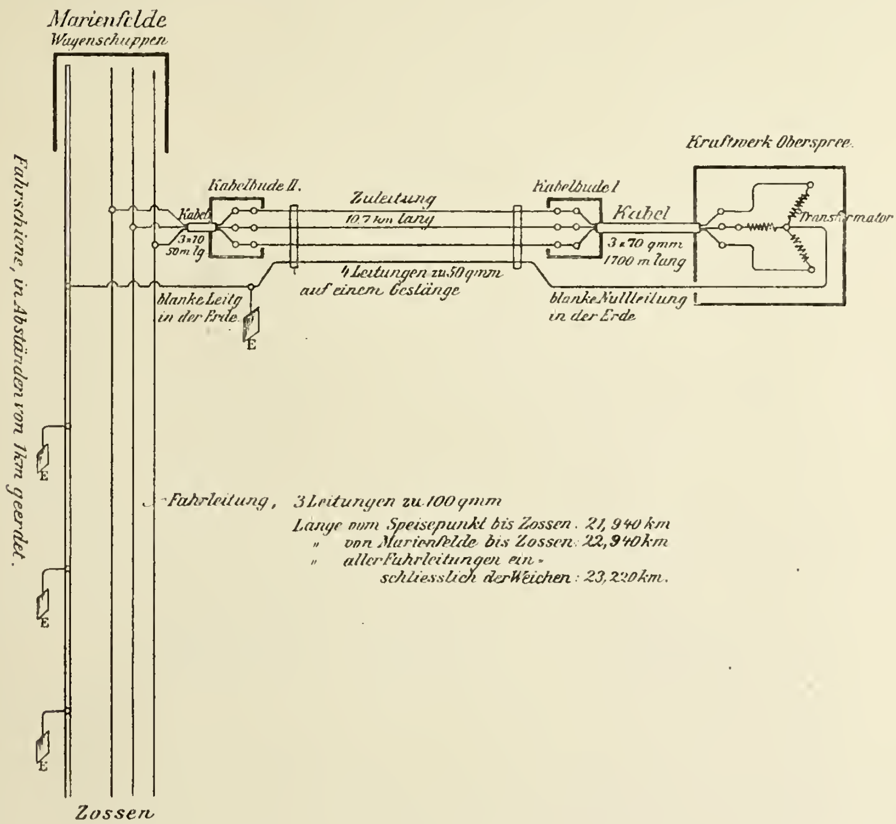


Abb. 14.

ein unmittelbarer Vergleich des Drehmomentes mit der gleichzeitig gemessenen elektrischen Energie nicht mehr möglich. Auf der Tafel 13 und 14 sind einige Diagramme in der aufgenommenen Form abgezeichnet, und zwar stammen die Diagramme 1 und 2 von solchen Fahrten, bei welchen die Motoren ohne Widerstände kurz geschlossen waren, während die Diagramme 3, 4 und 5 bei den Fahrten mit Einschaltung eines Widerstandes in den sekundären Teil der Motoren aufgenommen wurden. Die aus den drei letzten Diagrammen berechneten Zugkräfte sind auf Tafel 15 dargestellt. Sie ergeben ebenfalls etwas

Tafel 13, 14
Tafel 15

höhere Werte für den Zugwiderstand als die bei den Ablaufversuchen gefundenen; die Ursache dieser Abweichungen liegt vielleicht in einigen Mängeln der Zeigervorrichtung. Diese kann bei den ferneren Versuchen leicht verbessert werden, und die Vorrichtung wird dann gut geeignet sein, die ausgeübte Zugkraft unmittelbar an der Treibachse zu messen.

Bestimmung der Verluste in der Leitungsanlage.

Nach Schluß der Fahrversuche wurde zur Ermittlung der Kraft- und Spannungsverluste in der Zuleitung und Fahrleitung eine Messung des Ohmschen

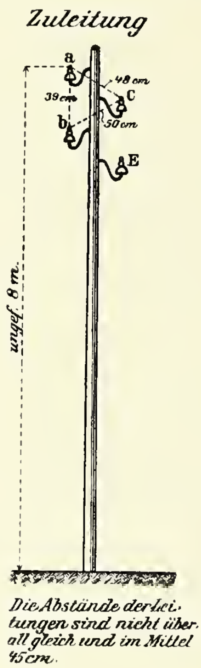


Abb. 15.

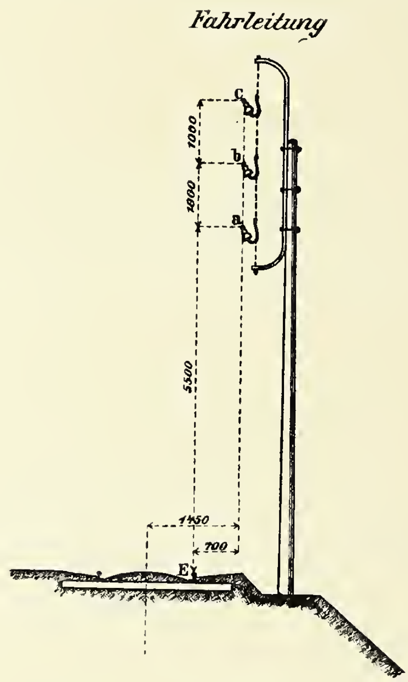


Abb. 16.

und des scheinbaren Widerstandes dieser Leitungen vorgenommen. Diese Messungen wurden für den oberirdischen Teil der Zuleitung und für die Fahrleitung getrennt ausgeführt, und zwar diente als Meßstation für erstere die Kabelbude I in Johannisthal, für letztere die Kabelbude II am Speisepunkt. Die Lage der Meßstationen geht aus Abb. 14 hervor, während die Anordnung der Leitungen am Gestänge in Abb. 15 und 16 dargestellt ist. Die Zuleitung besteht aus verseiltem Kupferdraht von 50 qmm Querschnitt, die Fahrleitung aus gezogenem Profildraht von rund 100 qmm Querschnitt in der Form einer Lemniskate.

Die Messung jeder Leitung zerfiel in folgende Abschnitte:

1. Widerstandsmessung mit Gleichstrom. Es wurden die Leitungen a, b und c und die Erdleitung E am Endpunkte kurzgeschlossen und in der Meßstation eine kleine Akkumulatorenbatterie abwechselnd an jeden Stromkreis angeschaltet. Die Messung von Strom und Spannung ergab den Widerstand jeder Schleife.

2. Bestimmung des Induktionskoëffizienten für Drehstrom. Hierzu wurden die Freileitungen und die Erdleitung wie vorher am Endpunkt kurz geschlossen und mit Drehstrom aus dem Kraftwerk belastet. Hierauf wurde in der Meßstation Leistung, Strom und Spannung je einer Phase nach Schema Abb. 17 gemessen. Die Periodenzahl wurde gleichzeitig im Kraftwerk aus der Umdrehungszahl der Dampfmaschine ermittelt.

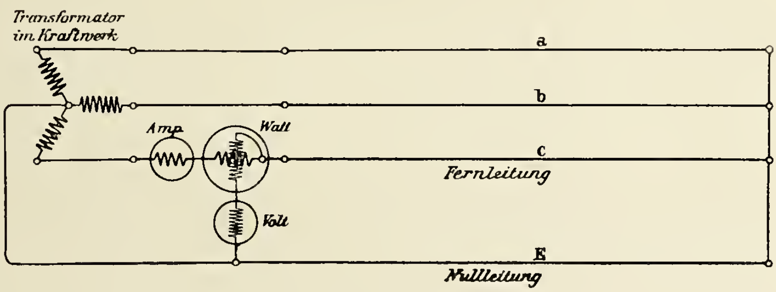


Abb. 17.

Der scheinbare Widerstand R′ einer Leitung ergiebt sich für die bei der Messung verwendete Periodenzahl aus der Beziehung

$$R' = \frac{E}{J} = \frac{\text{Phasenspannung}}{\text{Strom}} \text{ in Ohm.}$$

Um den scheinbaren Widerstand bei jeder anderen Periodenzahl (n) bestimmen zu können, bedarf es der Kenntnis des Selbstinduktionskoëffizienten (L) und der Kapazität (C) der Leitung; es gilt hierfür näherungsweise die Beziehung:

$$R' = \sqrt{\frac{R^2 + \omega^2 L^2}{\omega^2 C^2 \left[R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2\right]}}$$

R bedeutet hier den aus der Wattmessung bestimmten Ohmschen Widerstand, der sich von dem aus der Gleichstrommessung bestimmten W nur sehr wenig unterscheidet. $\omega = 2\pi n$.

Ist die Kapazität C gering, wie im vorliegenden Falle, so nähert sich der scheinbare Widerstand dem Ausdruck

$$R' = \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

wofür aus der Messung nur das L bestimmt zu werden braucht. Hierzu dient die Gleichung

$$E = J \sqrt{R^2 + \omega^2 L^2},$$

und es ergibt sich aus dem Spannungsdreieck Abb. 18

$$\cos\varphi = \frac{K}{J \cdot E} = \frac{\text{gemessene Leistung pro Phase}}{\text{gemessene Voltampères pro Phase}}$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi}$$

$$R = \frac{E}{J} \cos\varphi = \frac{K}{J^2}$$

$$L = \frac{E}{J a} \sin\varphi \qquad \text{in Henry.}$$

3. Bestimmung des Induktionskoëffizienten für Einphasenstrom. Hierzu wurden die Leitungen a b c am Endpunkte kurz geschlossen, aber von der Erdleitung E abgeschaltet. In der Meßstation wurden jedesmal zwei Leitungen mit dem Kraftwerk verbunden und Leistung, Strom und Spannung dieser Schleife gemessen. Die dritte Leitung und die Erdleitung blieben stromlos. Die Schaltung entspricht dem Schema Abb. 19.

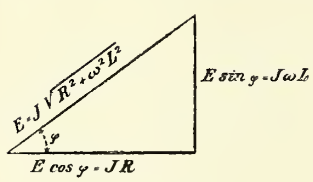


Abb. 18.

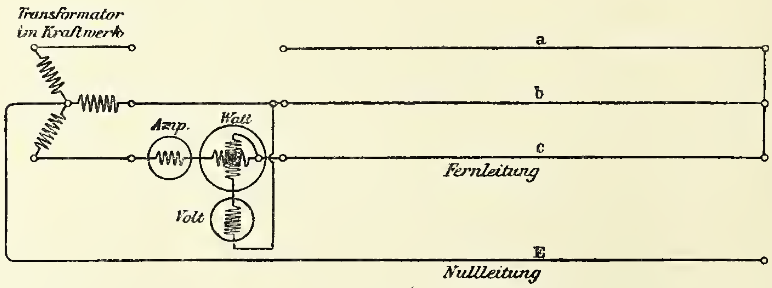


Abb. 19.

Die Berechnung des Induktionskoëffizienten erfolgt ebenso wie in Abschnitt 2, nur daß derselbe hier auf die ganze Schleife zu beziehen ist,

während sich derselbe dort nur auf einen einzelnen Draht bezieht, weil die Nullleitung nur als Voltmeterleitung dient und als stromlos anzusehen ist.

Zum Vergleiche wurde der Induktionskoëffizient auch aus den Abmessungen der Leitungen bestimmt nach der Formel

$$L/km = 0{,}4605 \log \frac{d}{r} + 0{,}05 \text{ Millihenry}$$

gültig für zwei parallele Leiter vom Halbmesser r und dem Abstande d für 1 km des einfachen Leiters.

Aus der mehr oder weniger guten Uebereinstimmung der Meßergebnisse mit den aus dieser Formel erhaltenen Werten läßt sich schließen, ob es angängig ist, die Kapazität der Leitung bei der Rechnung zu vernachlässigen.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Folgendem zusammengestellt:

1. Ohmscher Widerstand für Gleichstrom:

a) Zuleitung (10,7 km lang)

Widerstand einer Leitung a, b oder c (Mittelwert)		
	bei — 4 C . . W = 3,462	Ohm
	bei + 15° C . . W = 3,75	„
Widerstand für das laufende Kilometer	W/km = 0,35	„
Widerstand der Nullleitung E	bei — 4° C . . W = 0,775	„
Die Rechnung ergibt:	$W'/km = \frac{17{,}5}{50} = 0{,}35$	„

b) Fahrleitung (rund 22 km mit Hinzurechnung des Kabels am Speisepunkt).

Widerstand einer Leitung a, b oder c (Mittelwert)		
	bei + 4,5° C . . W = 3,85	Ohm
	bei + 15° C . . W = 4,02	„
Widerstand für das lauf. Kilometer	W/km = 0,183	„
Widerstand der Schienenrückleitung	bei + 4,5° C . . W = 0,42	„
Die Rechnung ergibt für die Fahrleitung:	$W/km = \frac{17{,}5}{97{,}3} = 0{,}180$	„

(Die genaue Messung des Querschnittes ergab 97,3 qmm.

2. Induktionskoëffizient für Drehstrom:

a) Zuleitung (10,7 km lang) bei — 3° C:

Leitung a	L = 0,01078	L/km = 0,001008	
„ b	L = 0,01043	L/km = 0,000974	
„ c	L = 0,0103	L/km = 0,000966	
Mittelwert	L = 0,01051	L/km = 0,000983	Henry.

Die Rechnung ergibt: L′/km = 0,000995 Henry.

b) Fahrleitung (22 km) bei + 5° C:

unterste Leitung a	L = 0,0255	L/km = 0,001159	
mittlere „ b	L = 0,0234	L/km = 0,001064	
oberste „ c	L = 0,0260	L/km = 0,001183	
Mittelwert	L = 0,0250	L/km = 0,001135	Henry.

Die Rechnung ergibt als Mittelwert: L′/km = 0,001131 Henry.

3. Induktionskoëffizient für Einphasenstrom:

a) Zuleitung (21,4 km Drahtlänge) bei — 3° C:

Schleife a—b	L = 0,0208	L/km = 0,000974
„ a—c	L = 0,0219	L/km = 0,001023
„ b—c	L = 0,0222	L/km = 0,001037
Mittelwert . .	L = 0,0216	L/km = 0,001012 Henry per Kilometer und Leitung.

Die Rechnung ergibt L′/km = 0,000995 Henry.

b) Fahrleitung (44 km Drahtlänge) bei + 5° C:

Schleife a—b (1 m Abstand)	L = 0,0469	L/km = 0,001064
„ a—c (2 m „)	L = 0,0566	L/km = 0,001285
„ b—c (1 m „)	L = 0,0483	L/km = 0,001096
Mittelwert . .	L = 0,0506	L/km = 0,001148 Henry per Kilometer und Leitung.

Die Rechnung ergibt für die Schleife:

a—b	L′/km = 0,001085
a—c	L′/km = 0,001223
b—c	L′/km = 0,001085
Mittelwert . .	L′/km = 0,001131 Henry.

Nach Kenntnis dieser die Leitungsanlage betreffenden Größen wurde der Kraft- und Spannungsverlust in der Zu- und Fahrleitung für die einzelnen Fahrtengruppen der Zusammenstellung Seite 18 u. 19 wie folgt berechnet:

Der Kraftverlust ist nach dem Jouleschen Gesetz

$$R = 3\,J^2\,W,$$

worin J die Stromstärke und W den Ohmschen Widerstand einer Leitung bedeutet. Da sich während der Fahrt die stromdurchflossene Länge der Fahrleitung fortwährend ändert, so muß, um den maßgebenden Widerstand

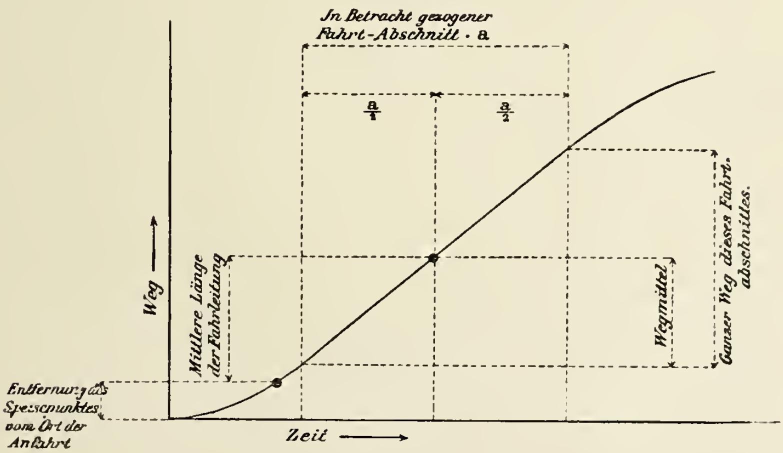


Abb. 20.

derselben zu bestimmen, die mittlere Länge vom Speisepunkt bis zum Mittelpunkt desjenigen Abschnittes der Fahrten ermittelt werden, welcher für die An- bezw. Dauerfahrt in Betracht gezogen wird. Weil die mittlere Kraftleistung immer auf die Zeit bezogen wird, so ist auch dieser Mittelpunkt auf die Zeitdauer der Fahrtabschnitte zu beziehen, d. h. man bestimmt im Zeitwegdiagramm (Abb. 20) denjenigen Weg, welcher der Mitte zwischen dem Zeitpunkte des Anfanges und dem Zeitpunkte des Endes des in Betracht gezogenen Fahrtabschnittes entspricht.

Der Spannungsverlust ergibt sich aus dem in Abb. 21 dargestellten Diagramm. Darin bedeuten:

Ew = Spannung beim Wagen
Esp = Spannung am Speisepunkt
Ej = Spannung in Johannisthal

JR = Ohmscher Spannungsverlust
$J\omega L$ = induktiver Spannungsverlust
$\triangle Ef$ = Spannungsverlust in der Fahrleitung
$\triangle Ez$ = Spannungsverlust in der Zuleitung.

Ist das Spannungsdreieck MNO durch die Messungen im Wagen gegeben, wobei $\cos \varphi$ aus der Gleichung

$$\cos \varphi = \frac{\text{Watt}}{\text{Amp. Volt} \cdot \sqrt{3}}$$

zu berechnen ist, so erhält man die Spannung und auch den Leistungsfaktor am Speisepunkt und in Johannisthal durch Anreihung der Verlustdreiecke NPQ und QRS für Fahr- und Zuleitung. Durch Subtraktion ergeben sich die Spannungsverluste $\triangle Ef$ und $\triangle Ez$.

Die so bestimmten Verluste stimmen nicht immer mit denjenigen, welche sich durch Subtraktion der Meßergebnisse im Wagen und am Speisepunkt ergeben, überein. Dies hat seinen Grund in kleinen Meßfehlern. Eine verhältnismäßig kleine Ungenauigkeit bei den Messungen von Kraft und Spannung im Wagen und am Speisepunkt bedingt schon einen großen Fehler für ihre nur einen kleinen Bruchteil dieser Größe betragende Differenz. Im vorliegenden Falle ist die aus den Leitungsmessungen abgeleitete Berechnung der Verluste maßgebend und als richtig zu betrachten.

Zusammenstellung der Kraft- und Spannungsverluste.

Mittl. Länge der Fahrleitg.	Mittl. Stromstärke in der		Kraftverlust in der		Spannungsverlust in der		Vergleichsweise angeführte		Anmerkung
	Fahrleitg.	Zuleitg.	Fahrleitg.	Zuleitg.	Fahrleitg.	Zuleitg.	Belastung i. Wagen	Spannung i. Wagen	
km	Amp.	Amp.	KW	KW	Volt (△Ef)	Volt (△Ez)	KW	Volt	
12,2	42,7	44	12,4	21,7	205	260	246	5543	bezogen auf die Dauerfahrten des Wagens A.
11,5	65,0	66	27,0	49,0	277	343	247	5190	
13,1	44,7	46	14,5	23,7	252	292	302	6089	
11,0	72,0	73	31,6	60,0	329	418	365	6390	
14,1	84,0	85	55,2	81,2	527	565	644	6120	
12,0	35,6	37	8,4	15,4	165	216	197	5619	bezogen auf die Dauerfahrten des Wagens S.
10,8	38,0	40	8,6	18,0	179	263	283	6162	
10,8	67,0	70	27,0	55,0	330	463	499	6685	

In vorstehender Zusammenstellung sind für die einzelnen Gruppen der Dauerfahrten die Verluste an Kraft und Spannung zusammengestellt, um einen Ueberblick über die Größe dieser Verluste zu gewinnen. Man sieht daraus, daß sie in keinem bestimmten Verhältnis zum Kraftverbrauch stehen, was auch aus dem Gang der Berechnung hervorgeht. Der Kraftverlust ist dem Quadrate der Stromstärke proportional; diese kann aber bei einer bestimmten Belastung sehr verschieden sein, je nach der Höhe der Spannung und der Größe des Leistungsfaktors cos φ. Der Kraftverlust ändert sich auch mit der mittleren Länge der Fahrleitung. Der Spannungsverlust ergibt sich aus der Formel

$$e = J \sqrt{R + \omega L}$$

oder zeichnerisch aus den in Abb. 21 dargestellten Verlustdreiecken. Dieser Verlust ist von der Stromstärke, dem Widerstand, bezw. der Länge der

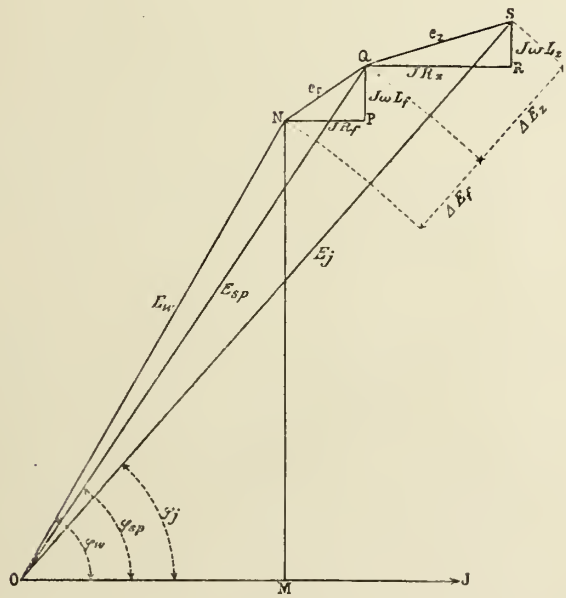


Abb. 21.

Leitung und ihrem Induktionskoëffizienten, sowie schließlich von der Periodenzahl abhängig. Induktionskoëffizient und Periodenzahl oder die Größe von ω L üben noch dazu einen Einfluß auf die Richtung des Verlustes im Spannungdreieck aus, von welcher die Größe der resultierenden Spannung am Speisepunkt (Esp) bezw. Johannisthal (Ej) wesentlich abhängt.

Bremsversuche.

Die an den Wagen vorhandenen Bremseinrichtungen sind im vorjährigen Bericht eingehend beschrieben worden. Auch wurde bereits erwähnt, daß wegen der Vielteiligkeit des Bremsgestänges ein genaues Einstellen der Bremsklötze große Schwierigkeiten machte und daß durch Einschaltung von Druckverminderungsventilen nach Bauart Westinghouse nicht der gewünschte Erfolg erzielt wurde, weil die Druckverminderung bei diesen Ventilen nicht

Nr. des Versuchs	Bremsstelle km	Geschw. bei Beginn der Bremswirkung km i.d.St.	Bremsweg m	Bremszeit Sek.	Luftdruck in der Leitung Atm.	Luftdruck in den Zylindern Atm.	Mittl. Verzögerung $p = \frac{v}{t}$ m/Sek.	Verzögernde Kraft in % d. Wagengewichts $\frac{100\ p}{g}$	Einschaltung des Druckverminderungsventils	Bemerkungen
I.	9,708 bis 10,07	89,2	362	26,5	7,8	5,5 bis 4,5	0,936	9,5	bereits vor dem Bremsen	Notbremsung
II.	12,886 bis 13,238	85,5	352	26,2	7,5	5,5 bis 4,5	0,908	9,3	bereits vor dem Bremsen	Notbremsung
III.	17,005 bis 17,554	102,4	549	34,5	8,5	6,2 bis 5,5	0,823	8,4	nach 15 Sekunden	Notbremsung
IV.	22,494 bis 23,081	105,8	587	35	8,5	6,2 bis 5,5	0,840	8,6	nach 18 Sekunden	Notbremsung
V.	26,23 bis 25,469	118,4	761	41,8	8,3	5,9 bis 4,8	0,7 8	8,0	nach 25 Sekunden	Notbremsung
VI.	16,952 bis 16,232	116,2	720	40	8,5	6,2 bis 5,0	0,808	8,2	nach 25 Sekunden	Volle Betriebsbremsung

nach der abnehmenden Geschwindigkeit, sondern nach einer bestimmten Zeit erfolgt. Da eine Aenderung des Bremsgestänges wegen des beschränkten Raumes in den Drehgestellen nicht stattfinden konnte, so wurde zur Erzielung einer möglichst guten Bremswirkung die größte Sorgfalt auf die genaue Einstellung des Bremsgestänges gelegt. Beim Wagen S wurden außerdem die Druckverminderungsventile versuchsweise auf die Führerstände verlegt und durch Rohrleitungen und Absperrhähne mit den Bremszylindern verbunden. So konnten die Ventile zu beliebiger Zeit eingeschaltet und der höchste Luftdruck im Zylinder für längere Zeit erhalten und entsprechend der Fahrgeschwindigkeit geregelt werden. Die Ergebnisse der mit dieser Vorrichtung ausgeführten Bremsversuche sind aus der Zusammenstellung auf voriger Seite zu ersehen.

Die Abnahme der Geschwindigkeit nach der Zeit ist auf Tafel 16 durch Schaulinien dargestellt, die einen ähnlichen Verlauf zeigen, wie die im vorigen Jahre aufgenommenen. Da bei den diesjährigen Versuchen gut arbeitende Geschwindigkeitsmesser vorhanden waren, so konnte die Abnahme der Geschwindigkeit und damit die Verzögerung während des ganzen Verlaufs der Bremsung genau festgestellt und damit auch die Reibungsziffer ermittelt werden. Tafel 16
Bezeichnet man wieder wie im vorigen Bericht:

mit f die Reibungsziffer,
" D den Gesamtdruck der Bremsklötze,
" M die Masse des Wagens,
" R die sich drehenden Massen bezogen auf den Radumfang,
" W den Widerstand des Wagens,
" p die Verzögerung, so ist

$$f = \frac{p\,(M + R) - W}{D}.$$

Steigung und Gefälle sind hierbei nicht berücksichtigt, weil die Bremsungen zum größten Teile auf wagerechter Strecke vorgenommen wurden. Alle Werte auf der rechten Seite der vorstehenden Gleichung sind bekannt. M ist wie im Vorjahre = 9300 und R = 790. Der Widerstand W ist der Widerstandslinie auf Tafel 6 zu entnehmen. D ist aus dem Luftdrucke in den Bremszylindern und dem Uebersetzungsverhältnis des Bremsgestänges berechnet.

Durchschnittliche Geschwindigkeit km i. d. St.	Bremsversuch Nr.	Zeit vom Eintritt der Bremswirkung an Sek.	Verzögerung p m i. d. Sek.	Bremsdruck D kg	Reibungsziffer f	Durchschnittliche Reibungsziffer
113	V	2—3	0,94	119 000	0,072	0.066
	VI	2	0,83	126 000	0,060	
100	III	1—2	0,78	126 000	0,057	0,055
	IV	3	0,78	126 000	0,057	
	V	7	0,78	119 000	0,060	
	VI	6	0,67	126 000	0,048	
75	I	5	0,83	103 000	0,076	0,062
	II	5	0,89	103 000	0,082	
	III	11—12	0,72	126 000	0,054	
	IV	13—14	0,72	126 000	0,054	
	V	18	0,67	119 000	0,053	
	VI	17	0,67	126 000	0,050	
50	I	14	0,94	91 000	0,100	0,075
	II	13	0,86	91 000	0,092	
	III	21—22	0,83	107 000	0,069	
	IV	23	0,83	119 000	0,068	
	V	28—29	0,67	114 000	0,057	
	VI	27	0,83	123 000	0,066	
25	I	21—22	1,11	80 000	0,128	0,108
	II	21—22	1,11	80 000	0,128	
	III	29—30	1,00	109 000	0,091	
	IV	30—31	1,00	109 000	0,091	
	V	37	1,03	93 000	0,110	
	VI	35	1,06	107 000	0,098	
8	I	25—26	1,39	80 000	0,162	0,149
	II	25	1,44	80 000	0,167	
	III	33	1,33	109 000	0,122	
	IV	34	1,47	109 000	0,135	
	V	41	1,56	93 000	0,168	
	VI	39	1,39	98 000	0,142	

Vorstehend sind die hiernach berechneten Werte der Reibungsziffer für verschiedene Geschwindigkeiten zusammengestellt und die sich ergebenden Durchschnittswerte beigefügt.

Aus der Zusammenstellung geht hervor, daß die Reibungsziffer vom Bremsbeginn an zunächst abnimmt, dann aber mit der weiter sinkenden Fahrgeschwindigkeit stark zunimmt. Es stimmt das mit den Beobachtungen überein, die Captain Douglas Galton im Jahre 1878 veröffentlicht hat. Hiernach nimmt die Reibungsziffer bei gleichbleibender Geschwindigkeit mit der Dauer der Bremsung ab. Bei den vorliegenden Bremsversuchen ist aber gleichzeitig die Abnahme der Geschwindigkeit zu berücksichtigen, wodurch wieder eine Erhöhung der Reibungsziffer bedingt wird. Es ist daher anzunehmen, daß beim Beginn der Bremsung die durch die Zeitdauer bedingte Abnahme der Reibungsziffer größer ist als die Zunahme, die mit der Verringerung der Geschwindigkeit eintritt, während nach einigen Sekunden die bei der Geschwindigkeitsabnahme sich zeigende Vergrößerung der Reibungsziffer überwiegt.

Die Versuche haben im Allgemeinen kein besseres Ergebnis gehabt als die günstigsten Bremsungen im vorigen Jahre. Auch konnte durch die Bedienung der Druckverminderungsventile von Hand, wodurch der größte Luftdruck in den Bremszylindern lange Zeit erhalten wurde, ein kürzerer Bremsweg nicht erzielt werden. Mit Rücksicht auf den angewendeten hohen Bremsdruck muß hieraus geschlossen werden, daß das vielteilige Bremsgestänge trotz aller Sorgfalt nicht genau genug eingestellt werden konnte. Es wird daher nach einer Vereinfachung der Bremseinrichtung zu streben sein. Für den in Aussicht genommenen Bau neuer 3achsiger Drehgestelle mit 5 m Radstand ist eine solche Bremseinrichtung bereits entworfen worden und in ihrer grundsätzlichen Anordnung auf Tafel 17 dargestellt. Die wesentliche Tafel 17 Vereinfachung des Bremsgestänges wird hauptsächlich dadurch erzielt, daß die Bremszylinder in die Ebene der Räder gelegt sind und daß je ein Kolben nur auf die Bremsklötze eines Rades wirkt. In jedem Drehgestell sind 2 Doppelzylinder zwischen den beiden nach der Mitte des Wagens zu liegenden Rädern und 2 einfache Zylinder zwischen den beiden nach außen liegenden Rädern angeordnet. Die Handbremse ist nur mit den von den Doppelzylindern bedienten Bremsklötzen verbunden. Dies erscheint zulässig, weil bei der angewendeten größten Uebersetzung der höchste zulässige Bremsdruck, auch wenn nur zwei Achsen eines Drehgestells gebremst werden, noch bei Weitem nicht erreicht werden kann. Bei der großen Einfachheit dieser Bremsanordnung ist eine gute Einstellbarkeit der Bremsklötze gewährleistet, und es

ist zu hoffen, daß damit die günstigste Bremswirkung erzielt werden kann, die überhaupt mit der Radbremse zu erreichen ist.

Abänderungen an den Motorwagen.

Bei den früheren Versuchen mit hoher Fahrgeschwindigkeit haben die Schnellbahnwagen starke Eigenbewegungen, Stoßen und Schlingern gezeigt, und diese für die sichere Fahrt nachteiligen Bewegungen nahmen mit steigender Geschwindigkeit in bedenklicher Weise zu. Auch bei der letzten Versuchsreihe wurden diese störenden Eigenbewegungen beobachtet, jedoch nur in geringerem Maße, entsprechend der niedrigeren Fahrgeschwindigkeit, welche eingehalten wurde. Wenn nun auch die ungenügende Widerstandsfähigkeit des Oberbaues und die infolge hiervon entstandenen Unregelmäßigkeiten des Gleises die Hauptursache dieser Erscheinung sind und der in Aussicht genommene stärkere Oberbau mit besonderen Leitschienen günstigere Verhältnisse in dieser Beziehung schaffen wird, so darf doch nicht unberücksichtigt bleiben, daß es nicht möglich ist, einen Oberbau mathematisch genau zu verlegen und ebenso wenig, ihn in solcher Lage zu erhalten. Die Fahrzeuge müssen deshalb so gebaut werden, daß die vorkommenden Abweichungen von der genauen Gleislage nicht imstande sind, sie in gefährliche Schwingungen zu versetzen. Mit Rücksicht hierauf kommt in erster Linie das eigentliche Laufwerk der Wagen in Betracht, und im Betriebsmittelausschuß sowie im technischen Ausschuß sind bereits diejenigen Aenderungen im Bau der Drehgestelle eingehend beraten worden, die nach den bisherigen Versuchen sich als zweckmäßig herausgestellt haben. Vor allen Dingen wurde die Vergrößerung des Radstandes der Drehgestelle und die Verbindung der Tragfedern durch Ausgleichhebel empfohlen, ferner wurde die Beseitigung der nicht gefederten Belastung der äußeren Achsen durch die Motoren und die Anbringung von Einrichtungen zur Verhütung des Schlingerns der Drehgestelle in Vorschlag gebracht. Bei den Fahrten im Herbst vorigen Jahres sind, soweit es ohne einen völligen Umbau der Drehgestelle möglich war, auch Versuche nach dieser Richtung hin angestellt worden, welche folgende Ergebnisse geliefert haben:

Vom Wagen S wurden die beiden Motoren des einen Drehgestelles ganz abgenommen und damit die ungefederte Belastung der äußeren Achsen dieses Gestelles um je 4 t verringert. Der Wagen wurde sodann mit den beiden Motoren der anderen Seite in Betrieb gesetzt und der Lauf der beiden Dreh-

gestelle genau beobachtet. Die lotrechten Stöße an den Schienenenden waren bei dem unbelasteten Drehgestell weniger bemerkbar wie bei dem anderen, dagegen waren die Schlingerbewegungen bei jenem stärker als bei diesem. Offenbar hindert das große Trägheitsmoment der auf den Endachsen sitzenden Motoren die Drehgestelle daran, jeder wenn auch nur geringen Unregelmäßigkeit des Gleises zu folgen. Die unmittelbare Belastung der äußeren Achsen der Drehgestelle durch die Motoren wirkt deshalb auf den Lauf der Wagen nicht so nachteilig ein, wie befürchtet wurde, und nur wenn Schlingerbewegungen eingetreten sind, kann die mitschwingende Masse der Motoren den Seitendruck der Räder gegen die Schiene erhöhen. Die lotrechten Stöße, welche die Wagen an den Schienenverbindungen erleiden, sind von der nicht gefederten Belastung der Achsen abhängig und werden geringer, wenn die Motoren nicht unmittelbar auf den Achsen gelagert, sondern, wie beim Wagen A, federnd an den Drehgestellen aufgehängt werden.

Ein weiterer Versuch, den Lauf des Wagens ruhiger zu gestalten, bestand darin, daß am Wagen A den Achsbuchsen der äußeren Achsen der Drehgestelle ein freies Spiel von 5 bis 6 mm in den Achsgabelführungen rechtwinklig zur Gleisrichtung gegeben wurde, sodaß die Achsen um dieses Maß seitlich ausweichen konnten, ohne das ganze Drehgestell mitzunehmen. Auch dieser Versuch hatte keinen günstigen Erfolg; der Lauf der Drehgestelle erschien vielmehr unruhiger als vorher.

Schließlich wurde am Wagen S eine von der Siemens & Halske Aktiengesellschaft entworfene Vorrichtung (Abb. 22) zur Verhinderung des Schlingerns angebracht, bestehend aus zwei Zylindern a a, die am Wagengestell befestigt sind und deren Kolbenstangen b b an einen vorspringenden Arm des Drehgestells angreifen. Die in den Zylindern vorhandenen Federn c c werden beim Ausschlag des Drehgestells gespannt und suchen dieses in die Mittellage zurückzuführen. Die Vorrichtung arbeitete während der Fahrt recht gut; wenn sie auch den Eintritt der Schlingerbewegungen nicht hindern konnte, so beschränkte sie doch die Dauer derselben ganz wesentlich. Eine größere Wirkung wird noch zu erzielen sein, wenn die Zylinder, wie beabsichtigt, mit Flüssigkeit gefüllt und durch ein Rohr mit verstellbarer Durchlaßöffnung verbunden werden, sodaß eine Flüssigkeitsbremse entsteht. Es darf aber das freie Spiel der Drehgestelle um ihren Drehpunkt nicht so weit beschränkt werden, daß eine sofortige Einstellung bei vorkommenden Abweichungen im Gleise verhindert wird.

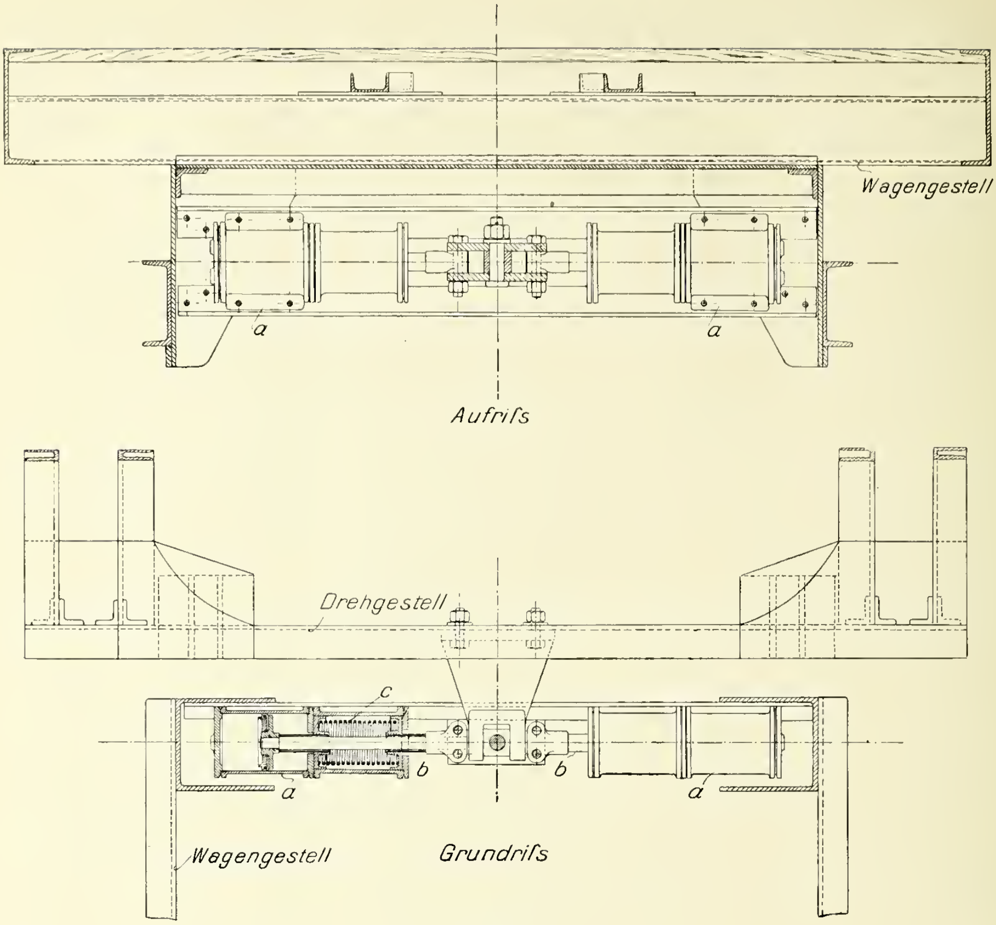


Abb. 22.

Die fortgesetzten Beobachtungen des Wagenlaufes ließen erkennen, daß bei schneller Fahrt die Drehgestelle nicht nur um den Mittelzapfen pendeln, sondern auch mit allen Achsen im Gleise nach rechts und links anlaufen. Da das Obergestell mit dem Untergestell fest verbunden ist, so muß ersteres dem letzteren folgen, und der ganze Wagen gerät auf diese Weise in seitliche Schwingungen, die eine starke Inanspruchnahme des Gleises zur Folge haben und seitliche Verbiegungen der Schienen veranlassen können. Dieser Uebelstand wird sich zum größten Teile beseitigen lassen, wenn die Drehgestelle eine seitliche Verschiebbarkeit gegen den Wagenkasten erhalten. Wird dieser zu beiden Seiten auf die Rahmen der Drehgestelle in besonderen Pfannen gelagert, so kann dem dadurch entlasteten Drehzapfen eine Verschiebbarkeit nach beiden Seiten, rechtwinklig zum Gleise, gegeben werden. Durch entsprechend gespannte Blattfedern läßt sich diese Verschiebbarkeit begrenzen und die Rückkehr in die Mittellage

sichern. Die Belastung der Drehgestellrahmen durch den Wagenkasten außerhalb des Drehpunktes wird zugleich einen ruhigeren Lauf der Gestelle bewirken, ohne ihre Beweglichkeit in unzulässiger Weise zu beschränken. In ähnlicher Art, wie vorstehend beschrieben, sind die vorderen Drehgestelle der Schnellzuglokomotiven der Preußischen Staatsbahnen gebaut, die sich recht gut bewährt haben.

Die erforderliche Gleichmäßigkeit und Sicherheit in der Belastung der einzelnen Achsen konnten bei den Versuchen nicht erreicht werden, obgleich die Spannungen der Trag- und Spiralfedern öfters geregelt und mehrfach diejenigen Federn, die eine zu geringe Tragkraft zeigten, ausgewechselt wurden. Dieser Übelstand läßt sich beseitigen, wenn zwischen den Tragfedern der einzelnen Achsen Ausgleichhebel angebracht werden. Um dies zu ermöglichen, muß jedoch der Radstand der Drehgestelle von 3,8 m auf 5 m vergrößert werden; diese Aenderung hat gleichzeitig eine günstigere Führung der Achsen im Gleise zur Folge und gestattet außerdem die bereits erwähnte wesentlich vorteilhaftere Anordnung der Bremseinrichtungen.

Auf Grund der vorstehend angeführten Beobachtungen und Erfahrungen haben sich die Elektricitäts-Gesellschaften entschlossen, neue Drehgestelle unter Benutzung der brauchbaren Teile der alten zu beschaffen. Für den Bau dieser Drehgestelle sind folgende Vorschriften gegeben:

1. Der Radstand ist auf 5 m zu vergrößern,
2. die Drehgestellrahmen sind aus einfachen **Z**-Trägern herzustellen
3. die Tragfedern sind durch Ausgleichhebel zu verbinden und so anzuordnen, daß sie in ganzer Länge sichtbar und leicht zugänglich sind,
4. der Wagenkasten ist auf jedem Drehgestell in vier Punkten aufzulagern,
5. der Mittelzapfen hat im Drehgestell eine Verschiebbarkeit von 30 mm nach jeder Seite zu erhalten,
6. die Motoren sind gegen die Achsen abzufedern,
7. die Anordnung der Bremszylinder und des Bremsgestänges ist nach den Angaben auf Seite 35 auszuführen.

Ob es sodann noch notwendig sein wird, die Drehgestelle mit besonderen Einrichtungen zur Verhütung des Schlingerns zu versehen, wird erst durch weitere Versuche festzustellen sein.

Messungen des Gleises.

Während der Versuchszeit waren, in gleicher Weise wie bei den früheren Versuchen, an verschiedenen Stellen des Gleises die im ersten Berichte ein-

Lotrechte Durchbiegung des Gleises.

	Vor Beginn der Versuchsfahrten (Mil.-Bahn-Züge) mm	Während der Versuchsfahrten m. d. Schnellbahnwagen		Nach Beendigung der Versuchsfahrten (Mil.-Bahn-Züge) mm
		V unter 100 km mm	V über 100 km mm	
Station 11,0 Schienen 12 m lang auf 16 Holzschwellen. Bettung: grober Steinschlag.	3,5	4,6 bis 5,9	—	5,0
Station 13,3 Schienen 9 m lang auf 5 hölzernen, 8 eisernen Schwellen. Bettung: Kies und Steinschlag.	3,9	3,6 bis 5,1	5,4	5,4
Station 15,8 Schienen 9 m lang auf 2 hölzernen, 10 eisernen Schwellen. Bettung: sandiger Kies und Steinschlag.	1,5	1,6	1,5 bis 2,3	2,2
Station 20,6 Schienen 12 m lang auf 3 hölzernen, 14 eisernen Schwellen. Bettung: sandiger Kies und Steinschlag.	1,8	—	2,3 bis 2,5	2,5
Station 26,3 Schienen 12 m lang auf 15 hölzernen Schwellen. Bettung: feiner Kies.	1,1	2,8	3,1	2,2
Station 27,4 Schienen 9 m lang auf 13 hölzernen Schwellen. Bettung: sandiger Kies.	1,6	3,5	2,9 bis 3,2	1,9

gehend beschriebenen Meßapparate mit Bleiplatten angebracht, um die Veränderung der Schienenlage während des Befahrens festzustellen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind auf Seite 40 zusammengestellt:

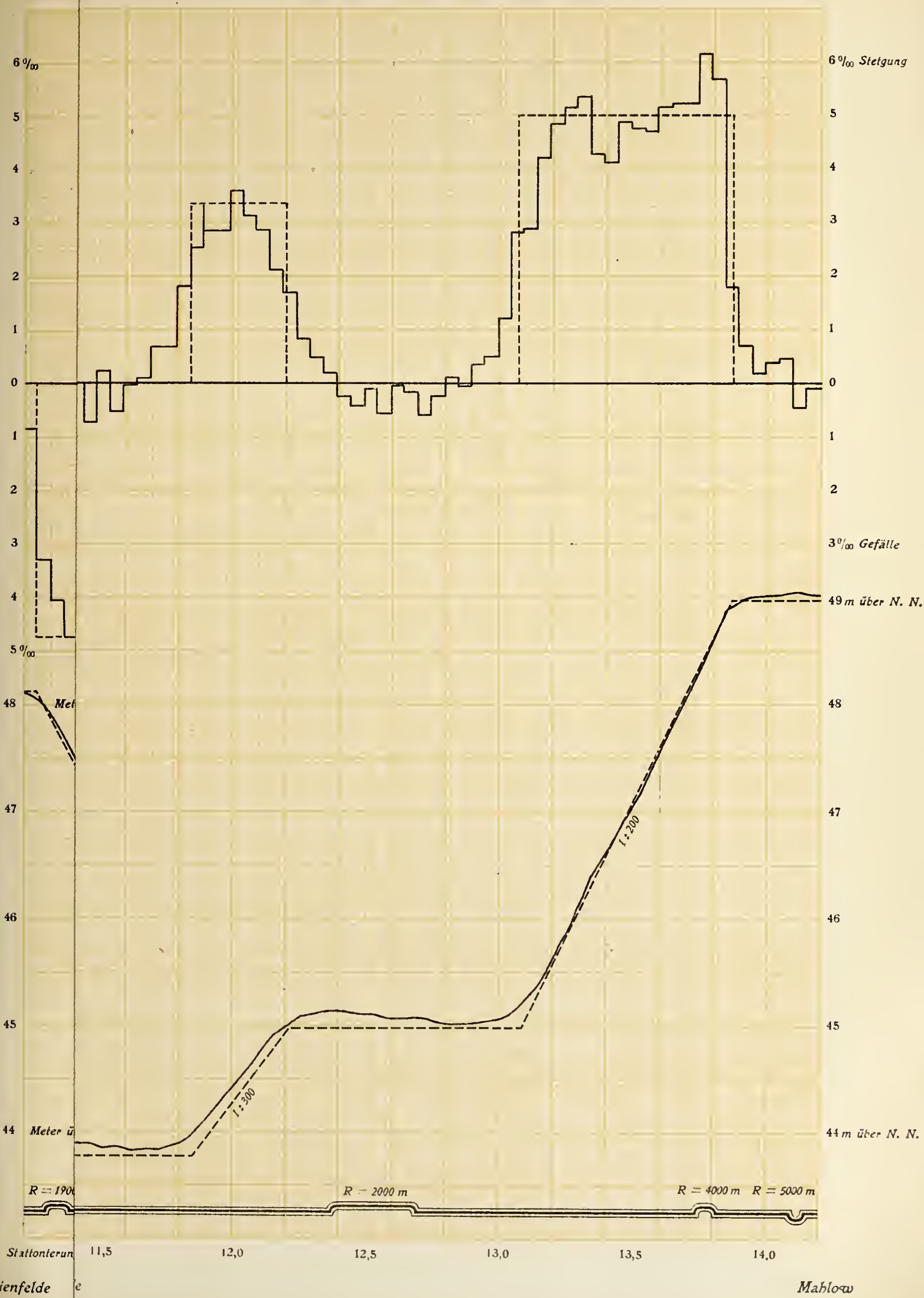
Die seitlichen Verbiegungen der Schienen waren sehr gering. Die Messungen ergaben für den Schienenkopf eine größte seitliche Ausbiegung von nur 1 mm, am Schienenfuß war eine Ausbiegung überhaupt kaum zu erkennen. Die größte Durchbiegung des Gleises wurde bei Station 11,0 gefunden, wo die hölzernen Schwellen auf einer Bettung aus grobem Steinschlag liegen, die geringste bei Station 15,8, wo die eisernen Schwellen auf sandigem Kies mit wenig Steinschlag gelagert sind. Die Ergebnisse dieser Messungen sind auf den Tafeln 18 und 19 in natürlicher Größe gezeichnet. Tafel 18, 19

Im allgemeinen hat sich der gesamte Oberbau gut gehalten, so daß während der Dauer der Versuche keine Nacharbeiten erforderlich waren. Wenn sich hiernach schon der gewöhnliche Oberbau auf der Militär-Eisenbahn für Fahrgeschwindigkeiten bis zu 120 km als genügend widerstandsfähig erwiesen hat, so bestätigt dies die bereits im vorigen Bericht ausgesprochene Ansicht, daß auf dem neuen starken Oberbau der Preußischen Staatsbahnen mit entsprechend gebauten Betriebsmitteln noch wesentlich höhere Fahrgeschwindigkeiten als 120 km ohne Gefährdung der Sicherheit erreicht werden können.

Nach Beendigung der Versuchsfahrten mit den Schnellbahnwagen wurden mit der Drehstromlokomotive von Siemens & Halske zur Erprobung ihrer Zugkraft noch einige Versuchsfahrten angestellt. Diese konnten bei den im Juni ausgeführten Versuchen, über die bereits berichtet wurde, nicht stattfinden, weil die Kraftübertragung von den Motoren auf die Achsen, die damals durch Zahnräder im Verhältnis 1 : 2 erfolgte, zunächst auf das Verhältnis 1 : 4 umgeändert werden mußte, um eine möglichst große Zugkraft zu erzielen. Nach Vornahme dieser Aenderung wurde ein aus 11 Wagen bestehender Zug von 153 Tonnen Gewicht an die Lokomotive angehängt, die mit dieser Last, selbst in der Steigung 1:200, ohne Schwierigkeit anfahren konnte und die Strecke von Marienfelde nach Zossen und zurück durchfuhr, ohne daß ihre Motoren übermäßig angestrengt wurden oder irgend welche Mängel zeigten. Der Strom hatte hierbei 45 Perioden und 12 500 Volt Spannung und diente ohne Verwendung von Transformatoren unmittelbar zur Speisung der Motoren. Die

Geschwindigkeit blieb während der ganzen Fahrt äußerst gleichmäßig und betrug 51 km in der Stunde.

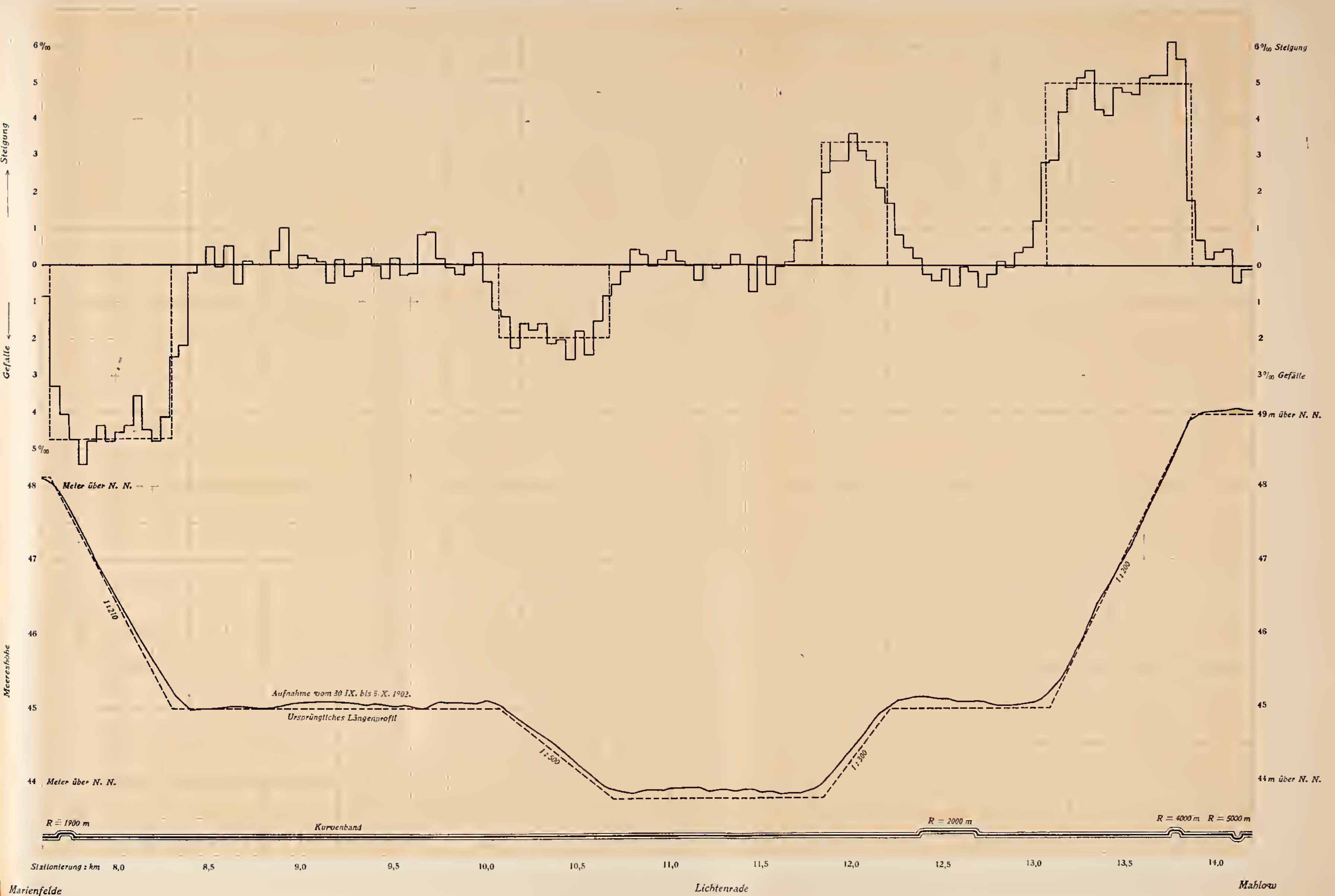
Bei den Versuchsfahrten war die Lokomotive nur mit zwei Motoren versehen, während die doppelte Ausrüstung vorgesehen ist; auch war die vorhandene elektrische Einrichtung nicht bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht. Mit Rücksicht hierauf kann wohl mit Sicherheit angenommen werden, daß die Drehstromlokomotive bei voller Ausrüstung imstande sein wird, mehr als das Doppelte zu leisten wie bei diesen Versuchen.

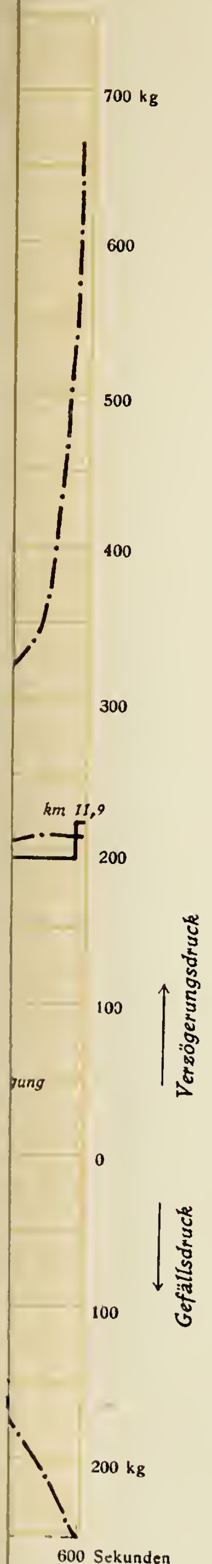

6 ‰
5
4
3
2
1
0
1
2
3
4
5 ‰
6 ‰ Steigung
3 ‰ Gefälle
49 m über N. N.
48
47
46
45
44
Met
Meter ü
44 m über N. N.
1 : 200
1 : 300
R = 190
R = 2000 m
R = 4000 m
R = 5000 m
Stationierun
11,5
12,0
12,5
13,0
13,5
14,0
arienfelde
Mahlow

Geschwindigkeit blieb während der ganzen Fahrt äußerst gleichmäßig und betrug 51 km in der Stunde.

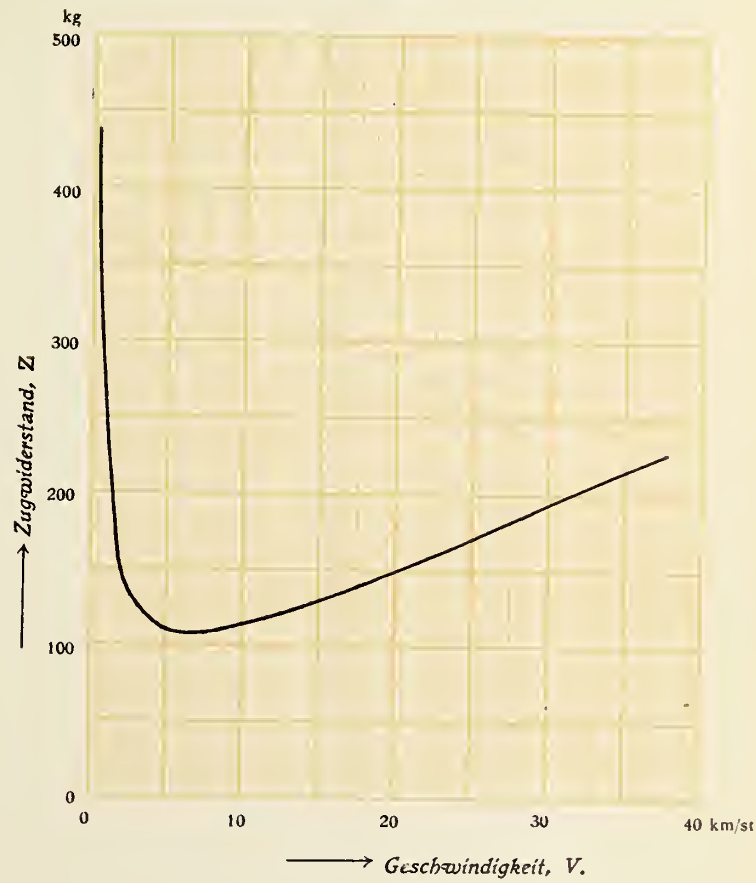
Bei den Versuchsfahrten war die Lokomotive nur mit zwei Motoren versehen, während die doppelte Ausrüstung vorgesehen ist; auch war die vorhandene elektrische Einrichtung nicht bis zur Grenze ihrer Leistungsfähigkeit beansprucht. Mit Rücksicht hierauf kann wohl mit Sicherheit angenommen werden, daß die Drehstromlokomotive bei voller Ausrüstung imstande sein wird, mehr als das Doppelte zu leisten wie bei diesen Versuchen.

Längenprofilaufnahme der Auslaufstrecke Marienfelde-Mahlow am 30. Sept. bis 3. Okt. 1902. TAFEL 1.

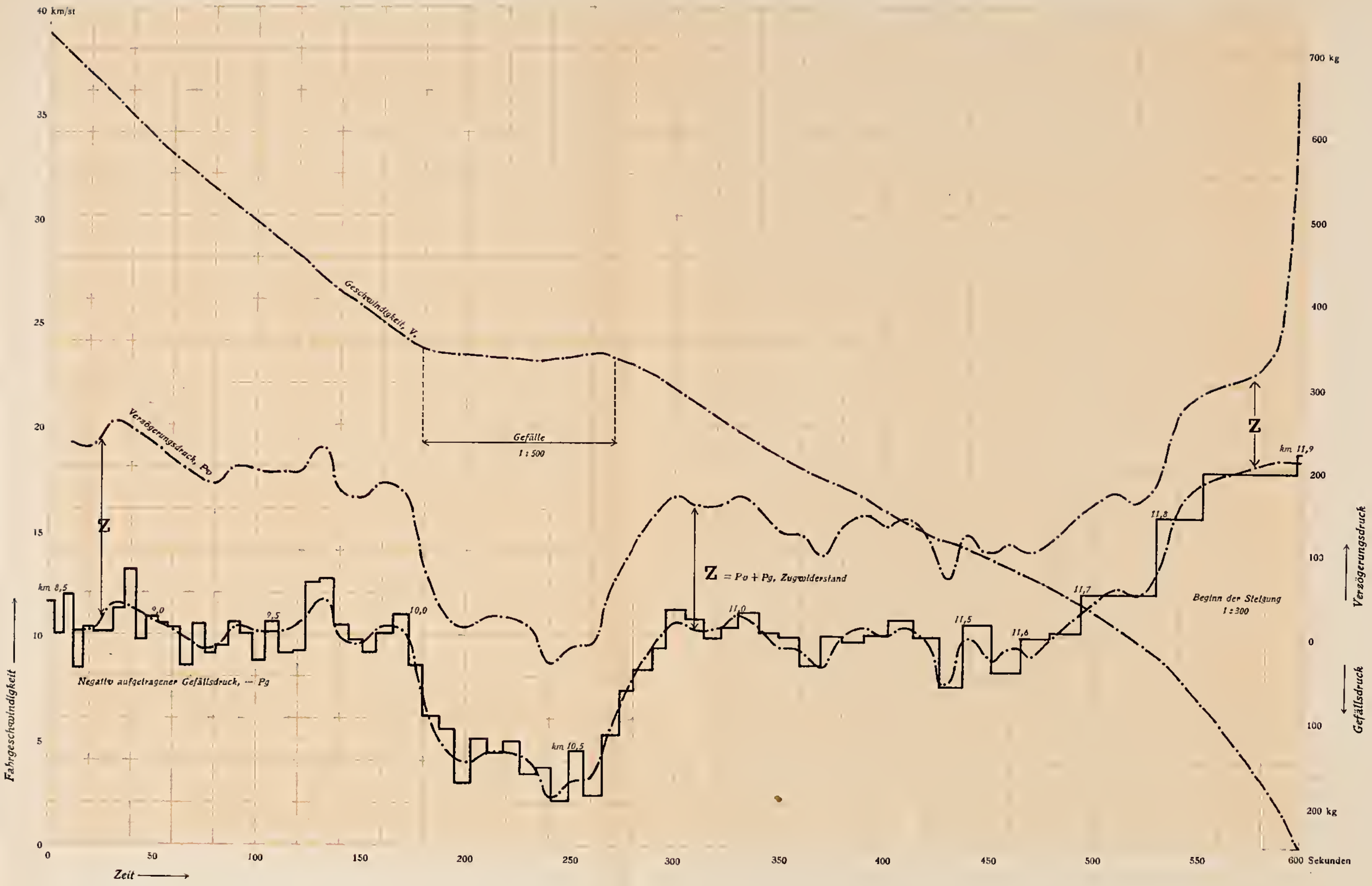



700 kg
600
500
400
300
km 11,9
200
100
Verzögerungsdruck
0
Gefällsdruck
100
200 kg
600 Sekunden

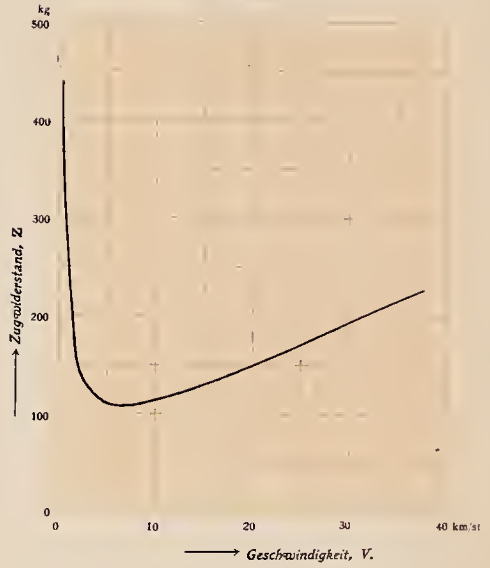
Ergebnis.


kg
500
400
300
200
100
0
Zugwiderstand, Z
0
10
20
30
40 km/st
Geschwindigkeit, V.

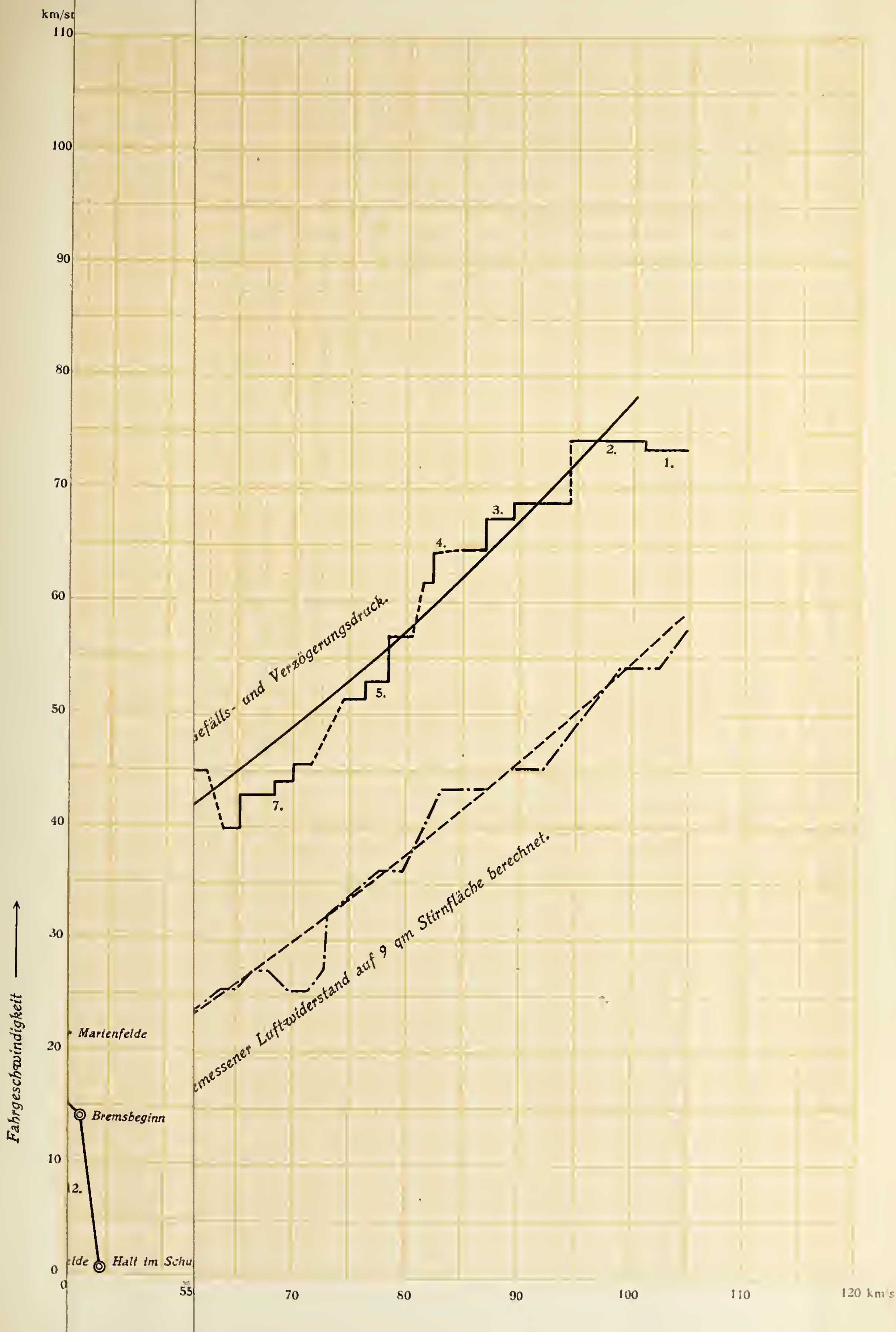
Bestimmung des Zugwiderstandes des Wagens „S" aus dem Auslauf I. am 27. September 1902.



Ergebnis.

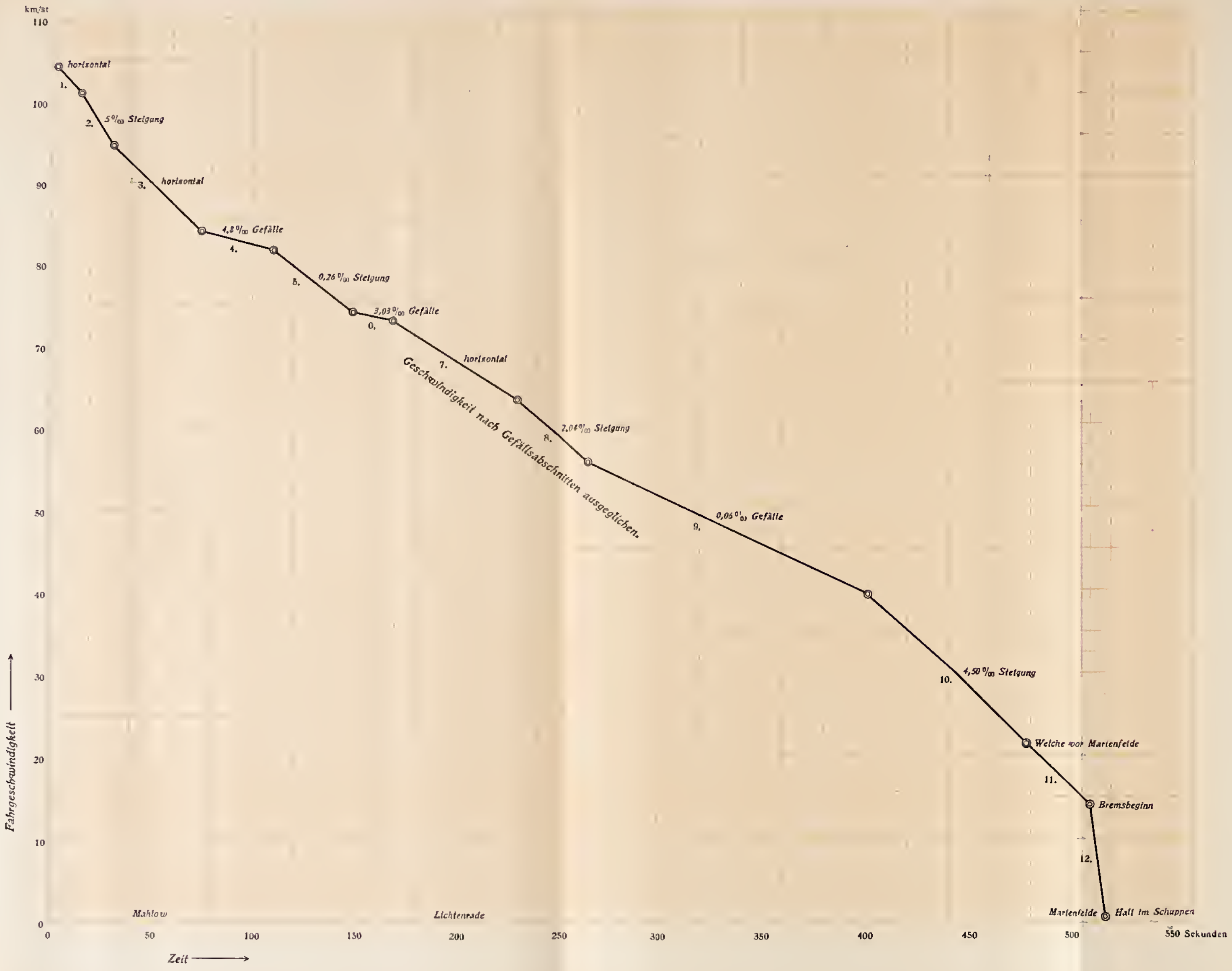


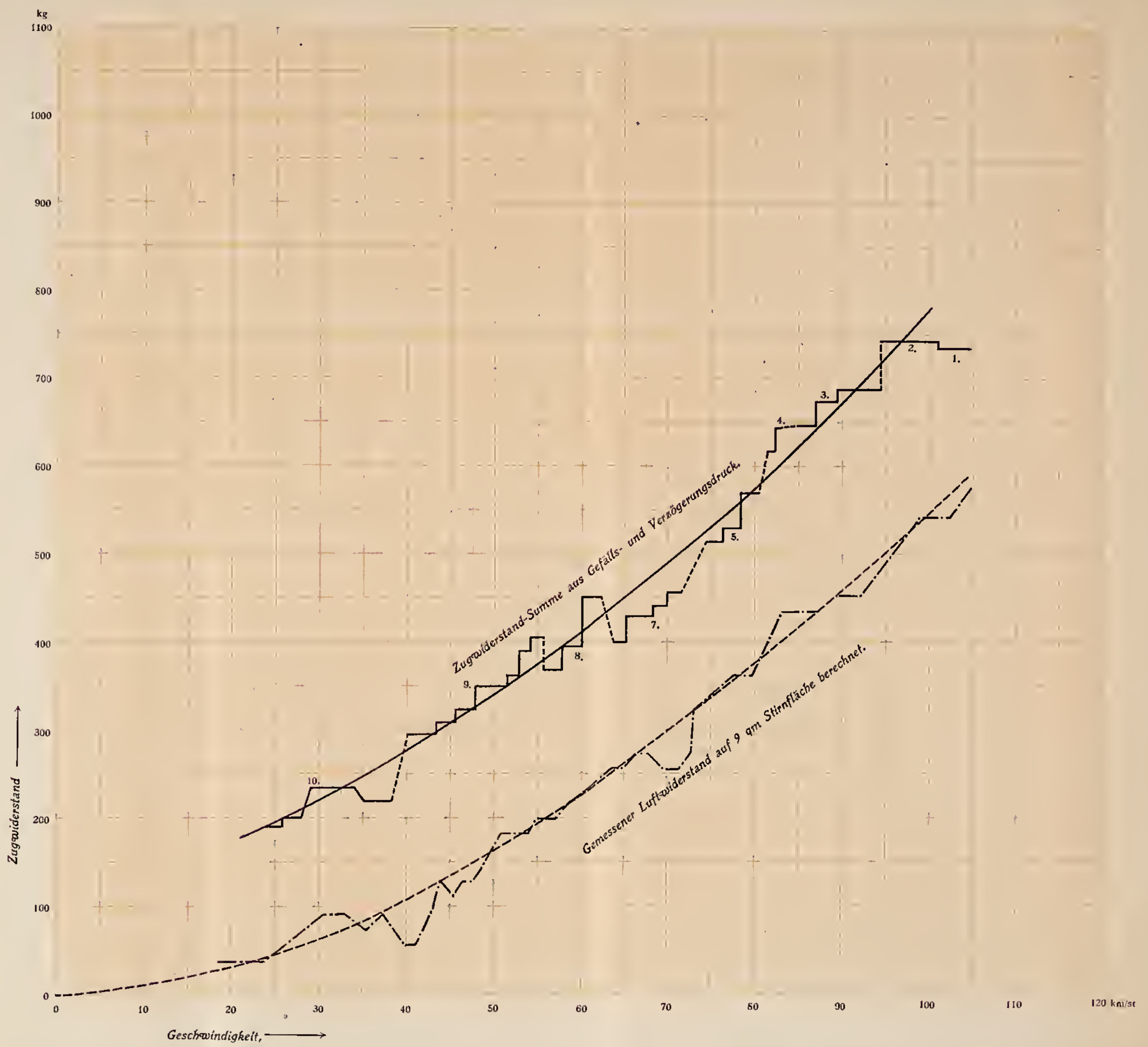
erstandes des
ichtung WNW. bis

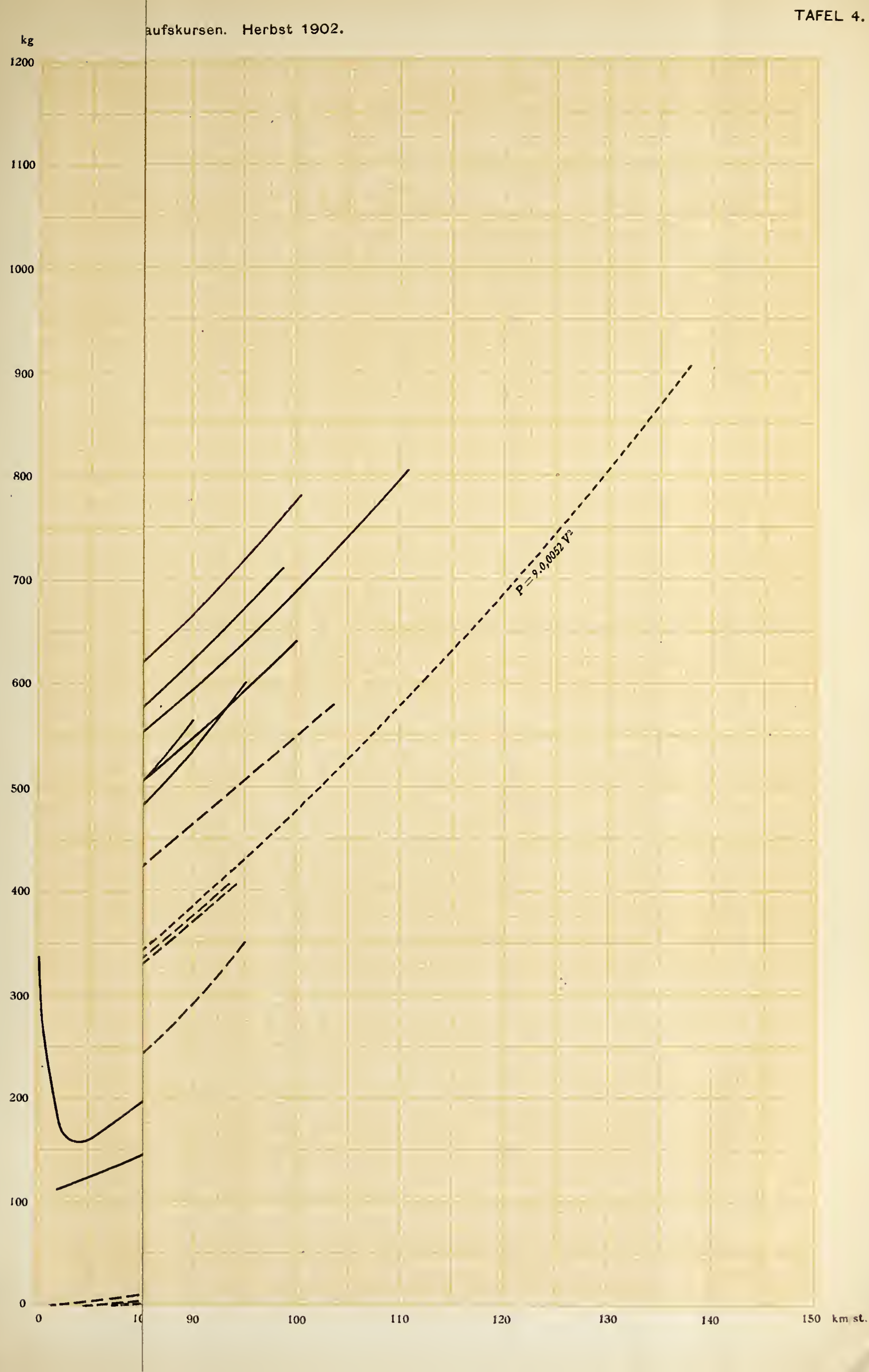


Bestimmung des Zugwiderstandes des Wagens „A" aus dem Auslauf II. am 15. Oktober 1902.

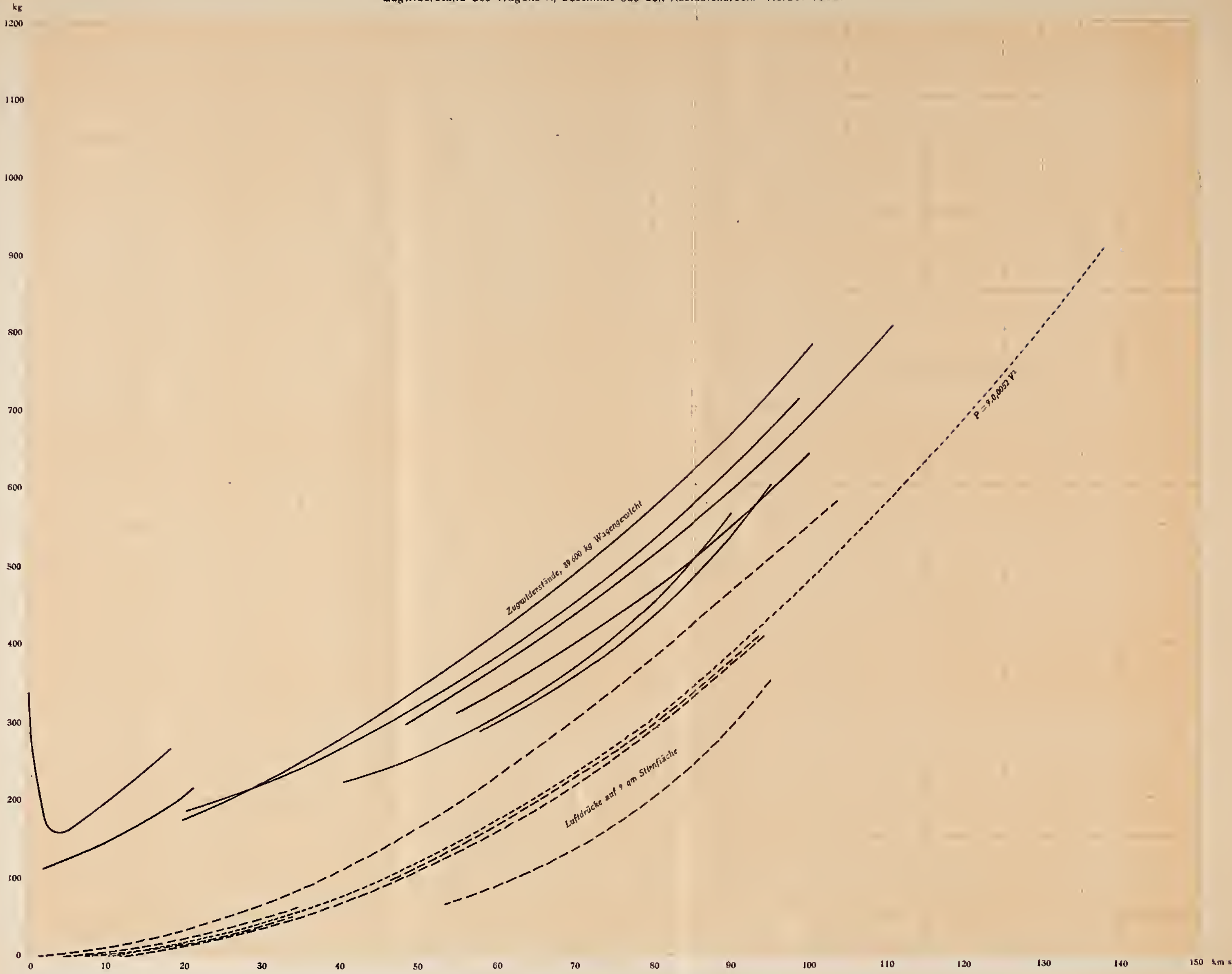
Windrichtung WNW. bis W.; Windgeschwindigkeit 5,8 m in der Sekunde.





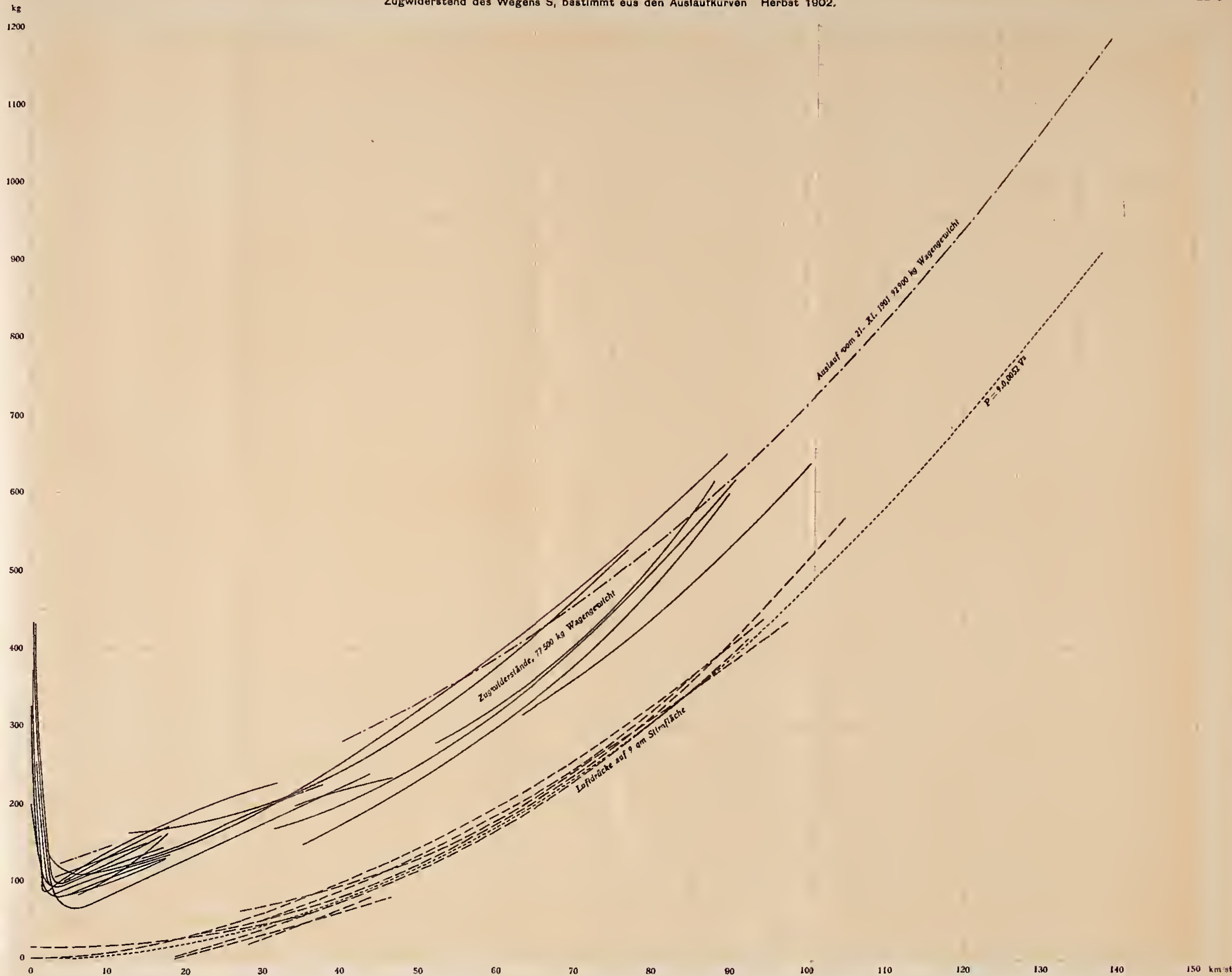

aufskursen. Herbst 1902.
kg
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
0
10
90
100
110
120
130
140
150
km st.
P = 9.0,0052 V²

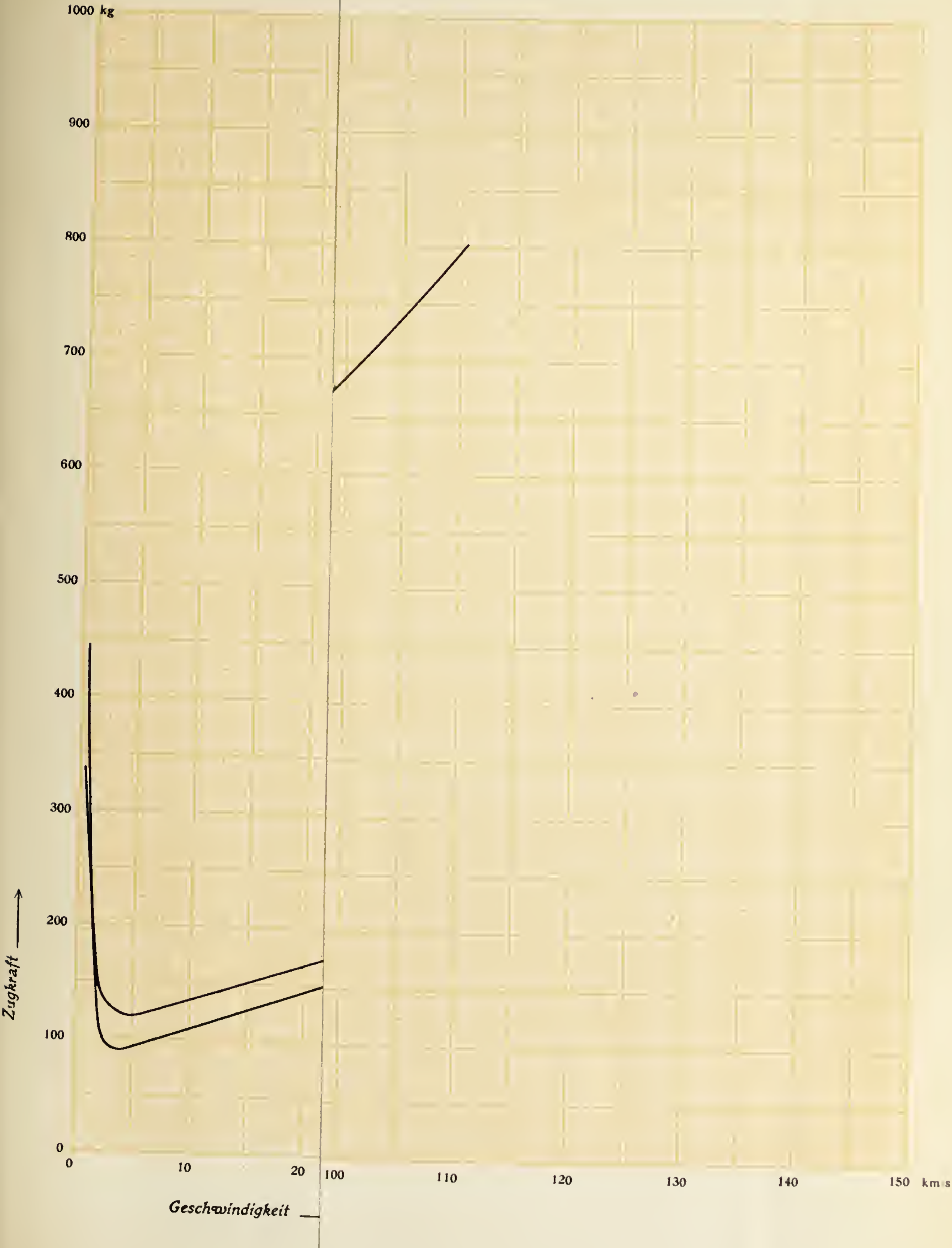
Zugwiderstand des Wagens A, bestimmt aus den Auslaufskursen. Herbst 1902.



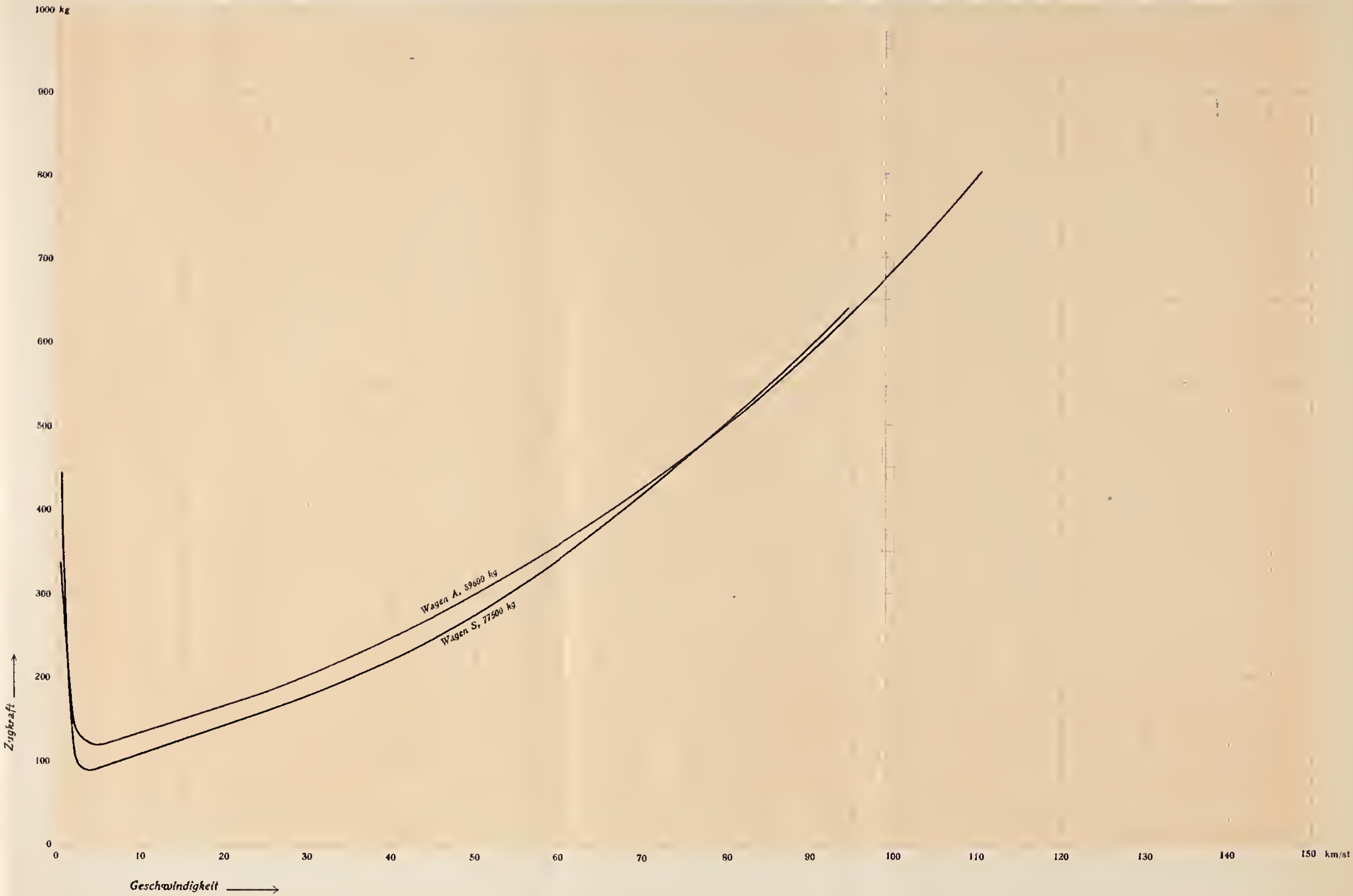

02.
kg
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Auslauf vom 21. XI. 1901 92 900 kg Wagengewicht
P = 9.0,0052 V²
0
10
20
30
110
120
130
140
150 km/st

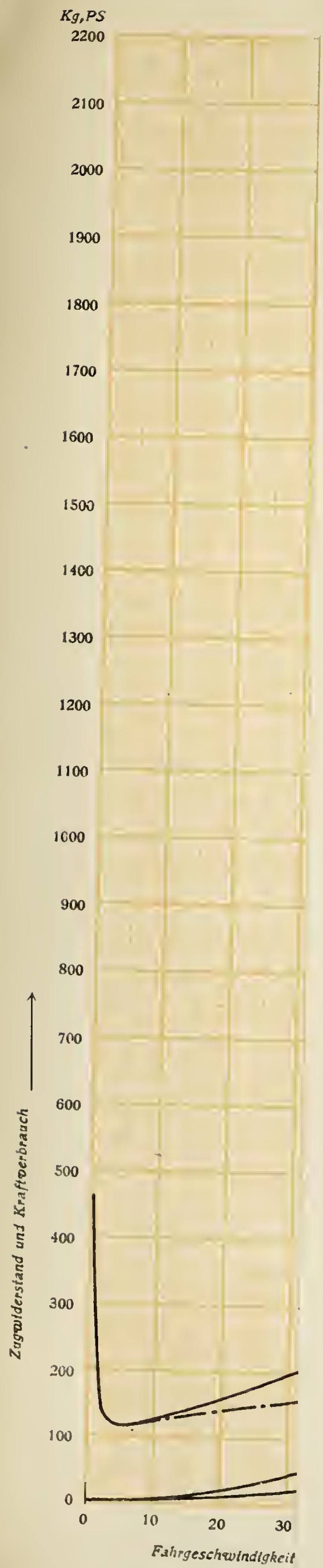
Zugwiderstand des Wagens S, bestimmt aus den Auslaufkurven Herbst 1902.

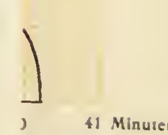


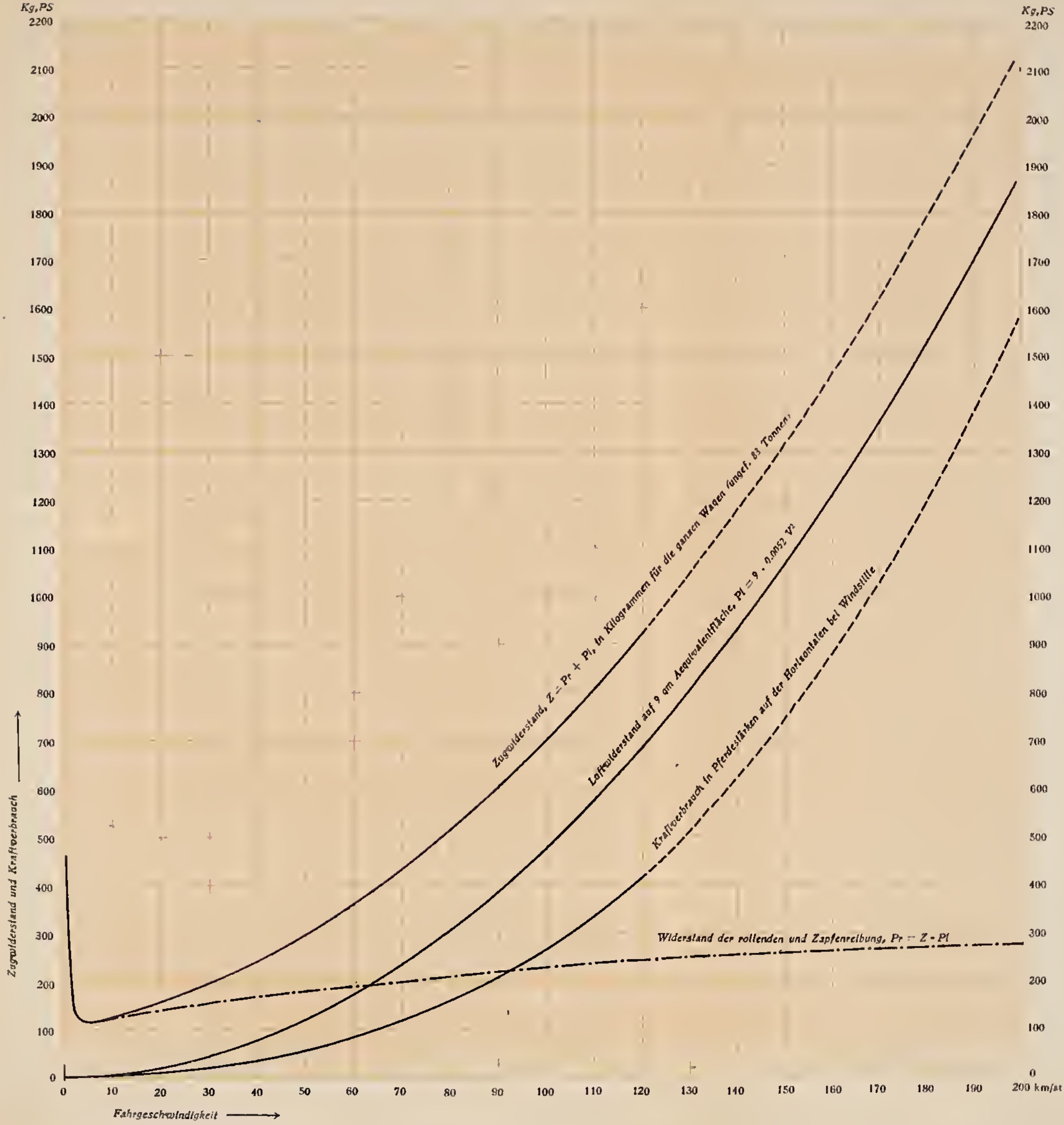

1000 kg
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Zugkraft
0
10
20
100
110
120
130
140
150 km st
Geschwindigkeit

Mittlerer Zugwiderstand der Schnellbahnwagen, bestimmt aus den Ausläufen im Herbst 1902.




Kg,PS
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Zugwiderstand und Kraftverbrauch
0
10
20
30
Fahrgeschwindigkeit


41 Minuten


Kg,PS
2200
2100
2000
1900
1800
1700
1600
1500
1400
1300
1200
1100
1000
900
800
700
600
500
400
300
200
100
0
Zugwiderstand und Kraftverbrauch
Zugwiderstand, Z = Pr + Pl, in Kilogrammen für die ganzen Wagen (ungef. 83 Tonnen)
Luftwiderstand auf 9 qm Aequivalentfläche, Pl = 9 . 0,0052 V²
Kraftverbrauch in Pferdestärken auf der Horizontalen bei Windstille
Widerstand der rollenden und Zapfenreibung, Pr = Z - Pl
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150
160
170
180
190
200 km/st
Fahrgeschwindigkeit

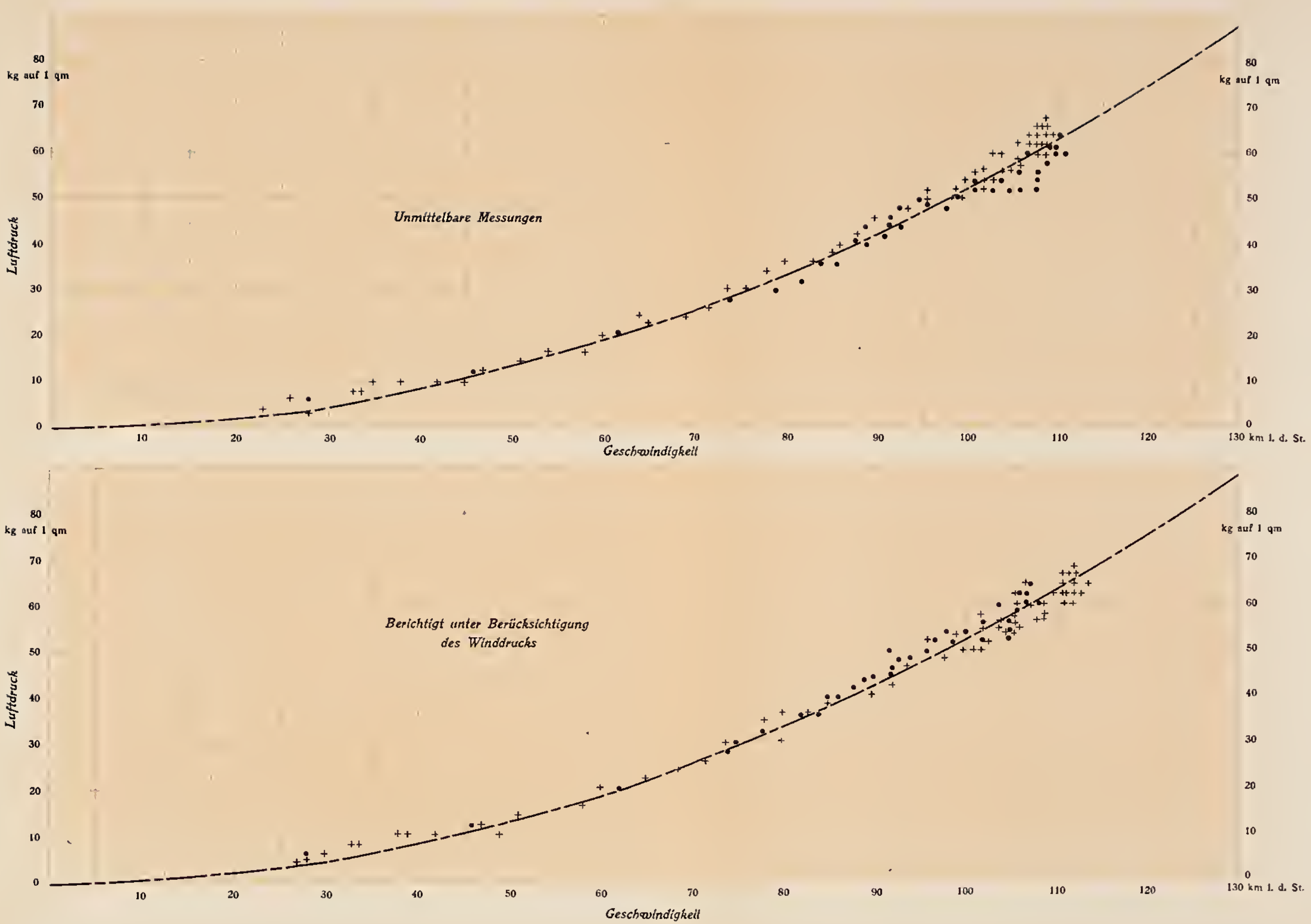
80
kg auf 1
70
60
50
Luftdruck 40
30
20
10
0

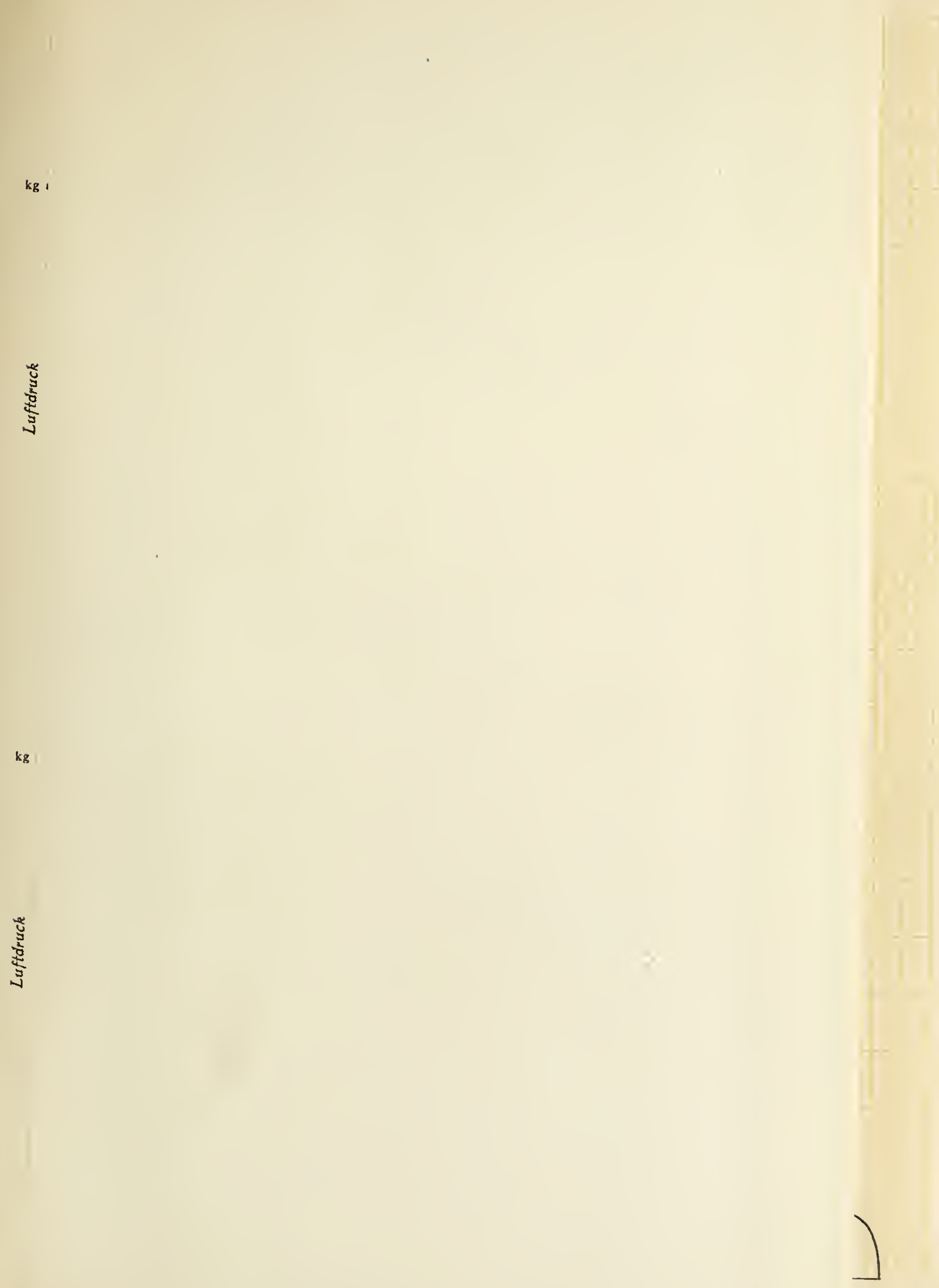
80
kg auf 1
70
60
50
Luftdruck 40
30
20
10
0

0 41 Minuten

Messung des Luftdrucks.

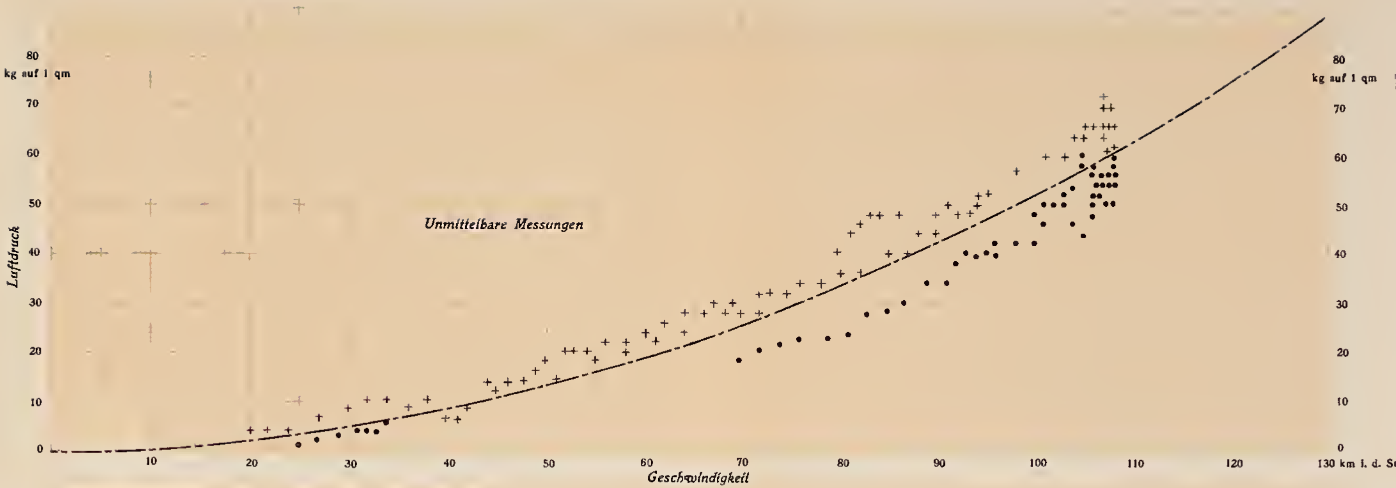
Windrichtung WNW—W (fast W); Windgeschwindigkeit 2,8 m i. d. Sekunde.

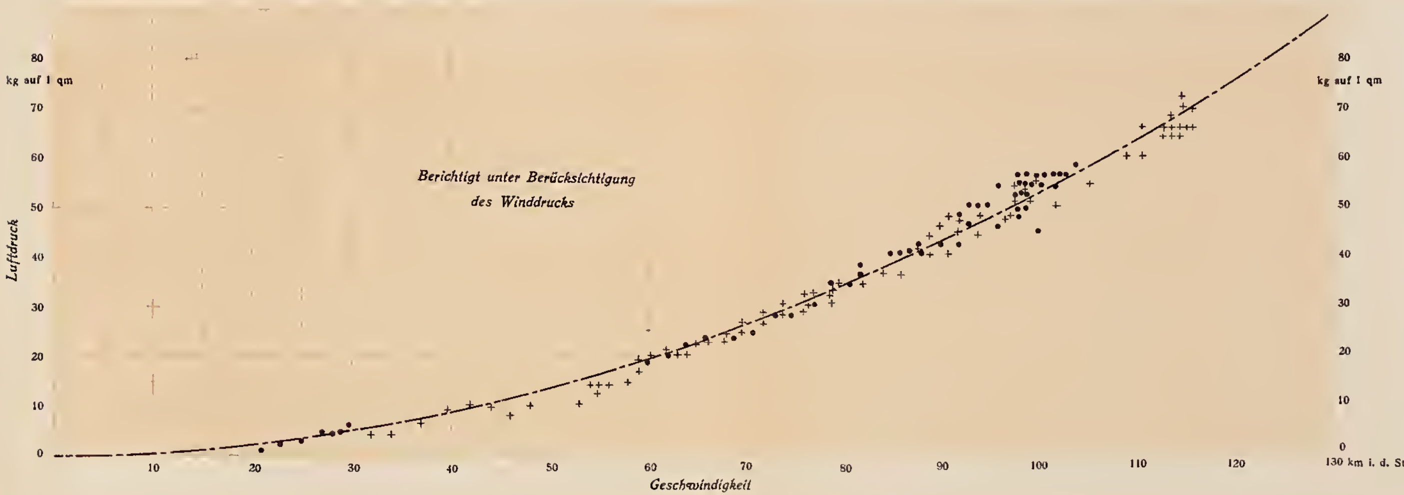



kg
Luftdruck
kg
Luftdruck
40
41 Minuten

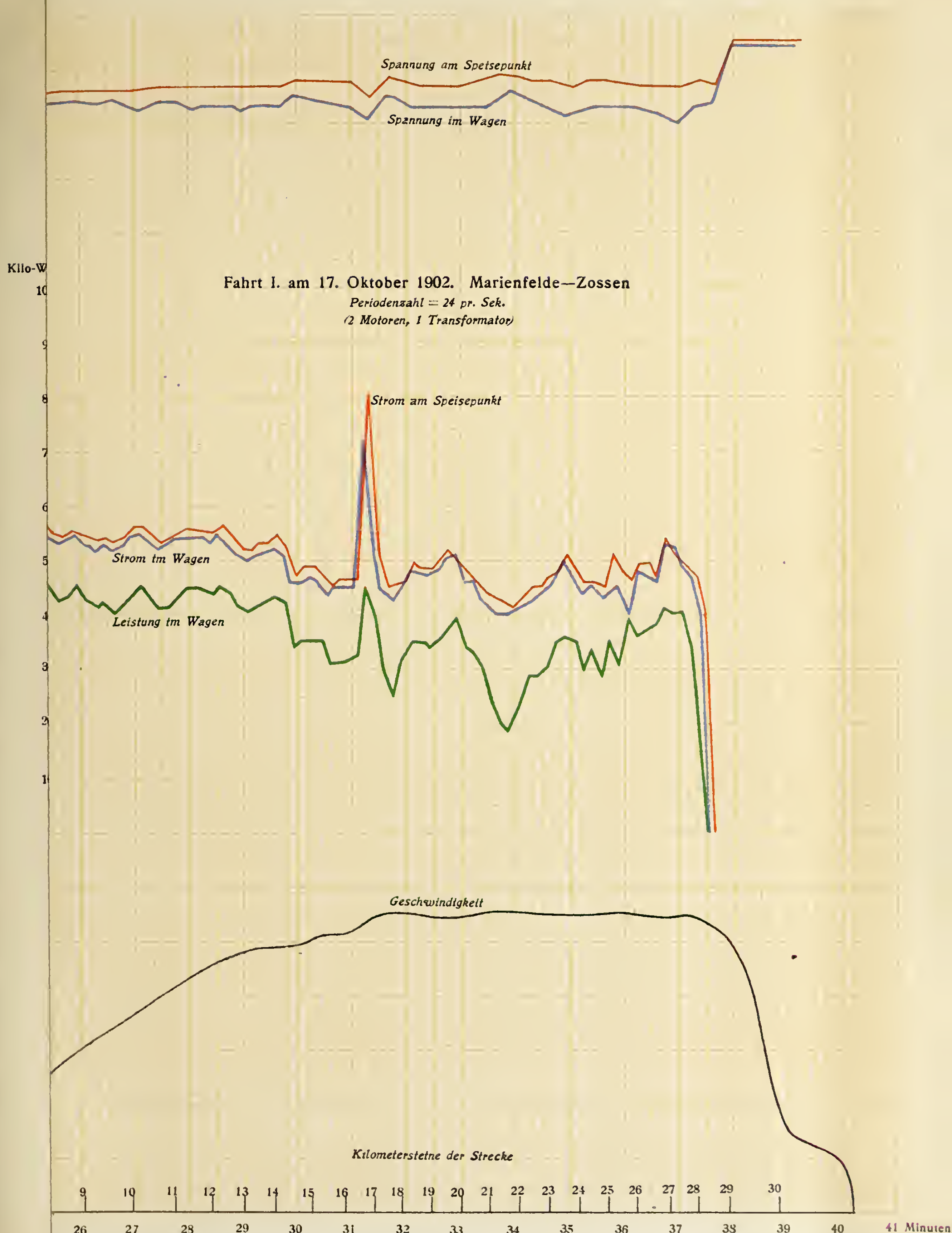
Messung des Luftdrucks.

Windrichtung WNW - W; Windgeschwindigkeit 5,8 m i. d. Sekunde.



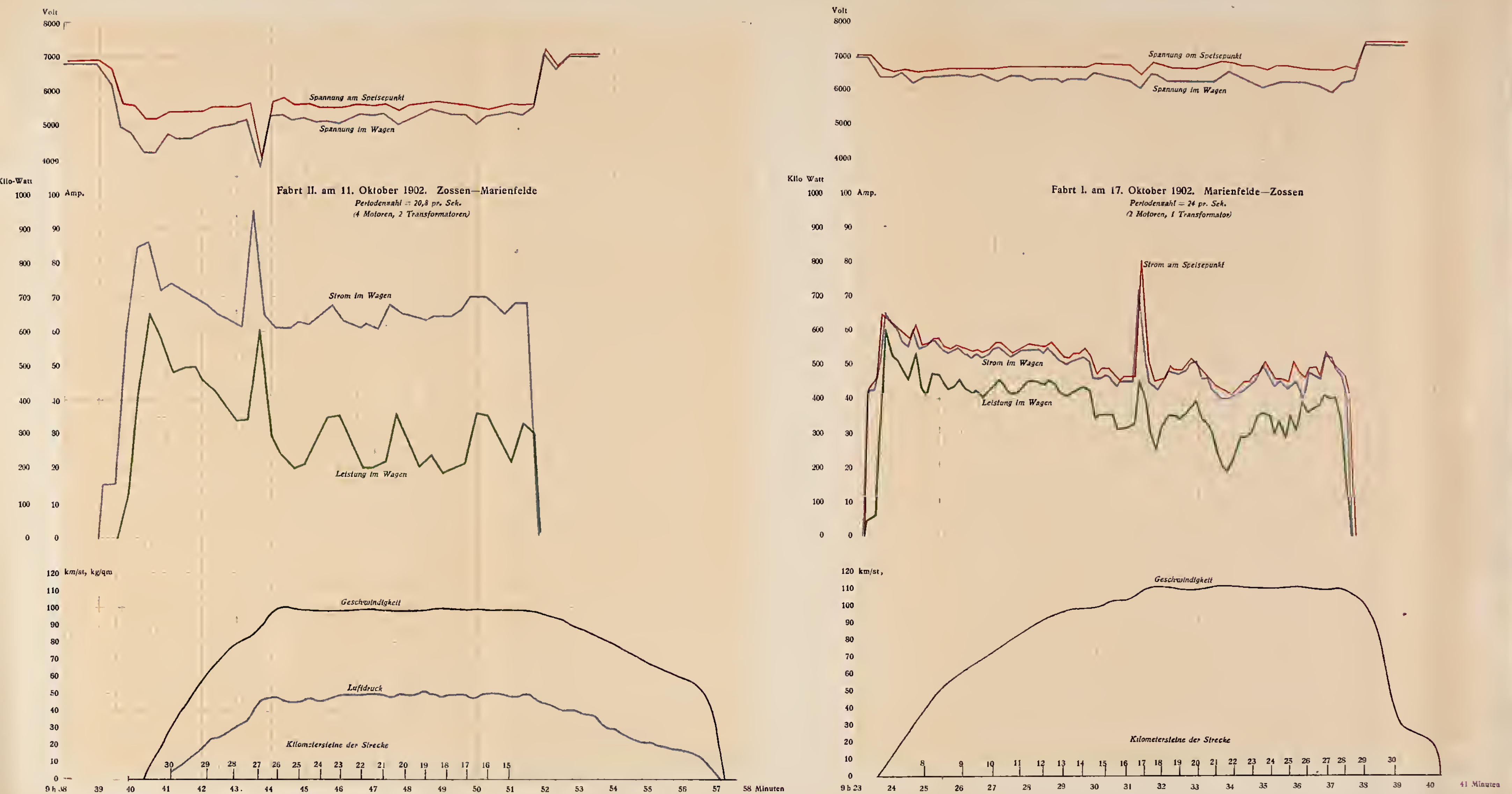


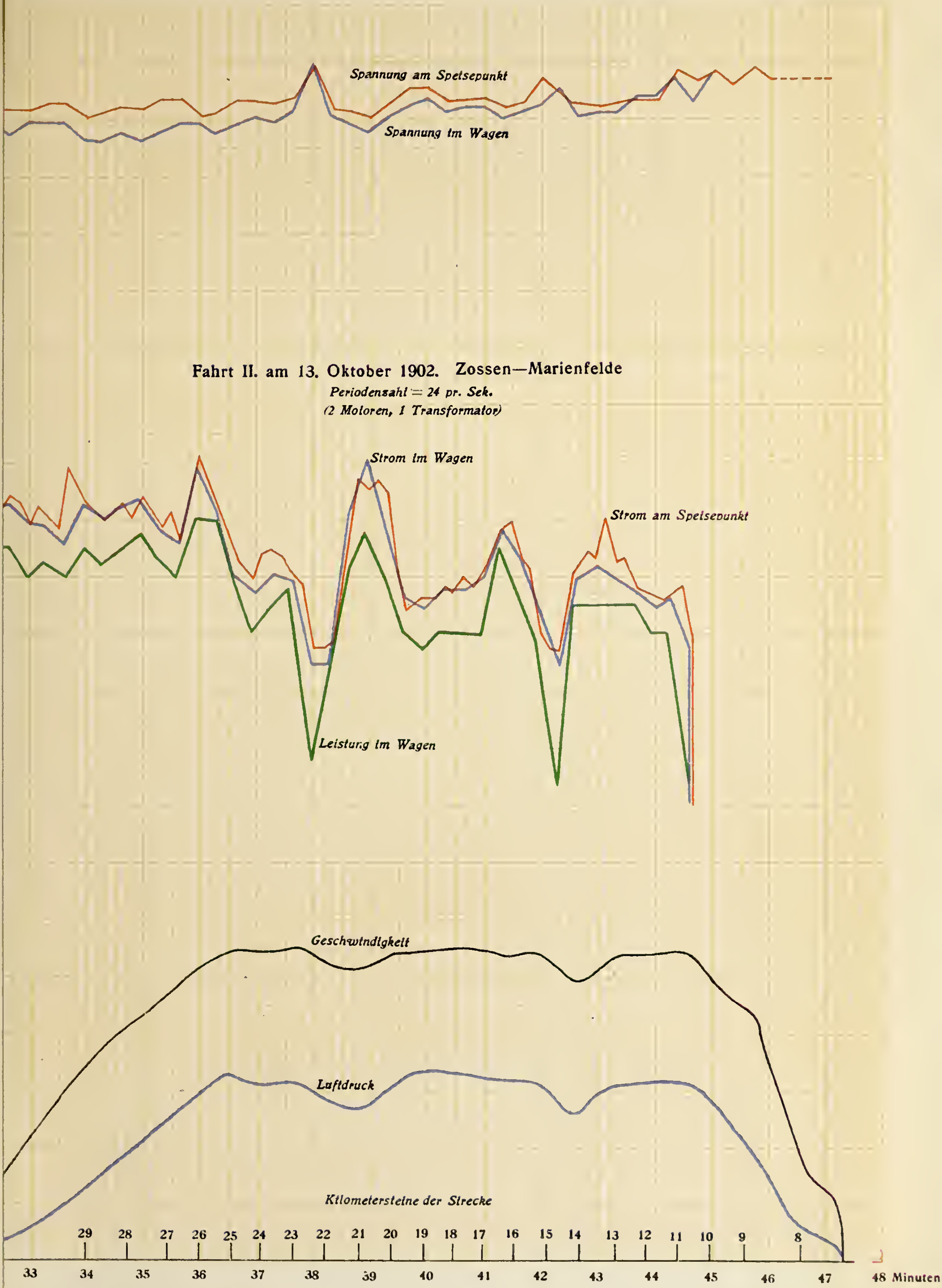
TAFEL 10.


Spannung am Speisepunkt
Spannung im Wagen
Kilo-W
Fahrt I. am 17. Oktober 1902. Marienfelde—Zossen
Periodenzahl = 24 pr. Sek.
(2 Motoren, 1 Transformator)
Strom am Speisepunkt
Strom im Wagen
Leistung im Wagen
Geschwindigkeit
Kilometersteine der Strecke
9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30
26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 Minuten

Fahrten mit dem Wagen „A“ (Wagengewicht = 89 600 kg)

(Geschwindigkeit, Luftdruck, Strom, Spannung und Leistung.)

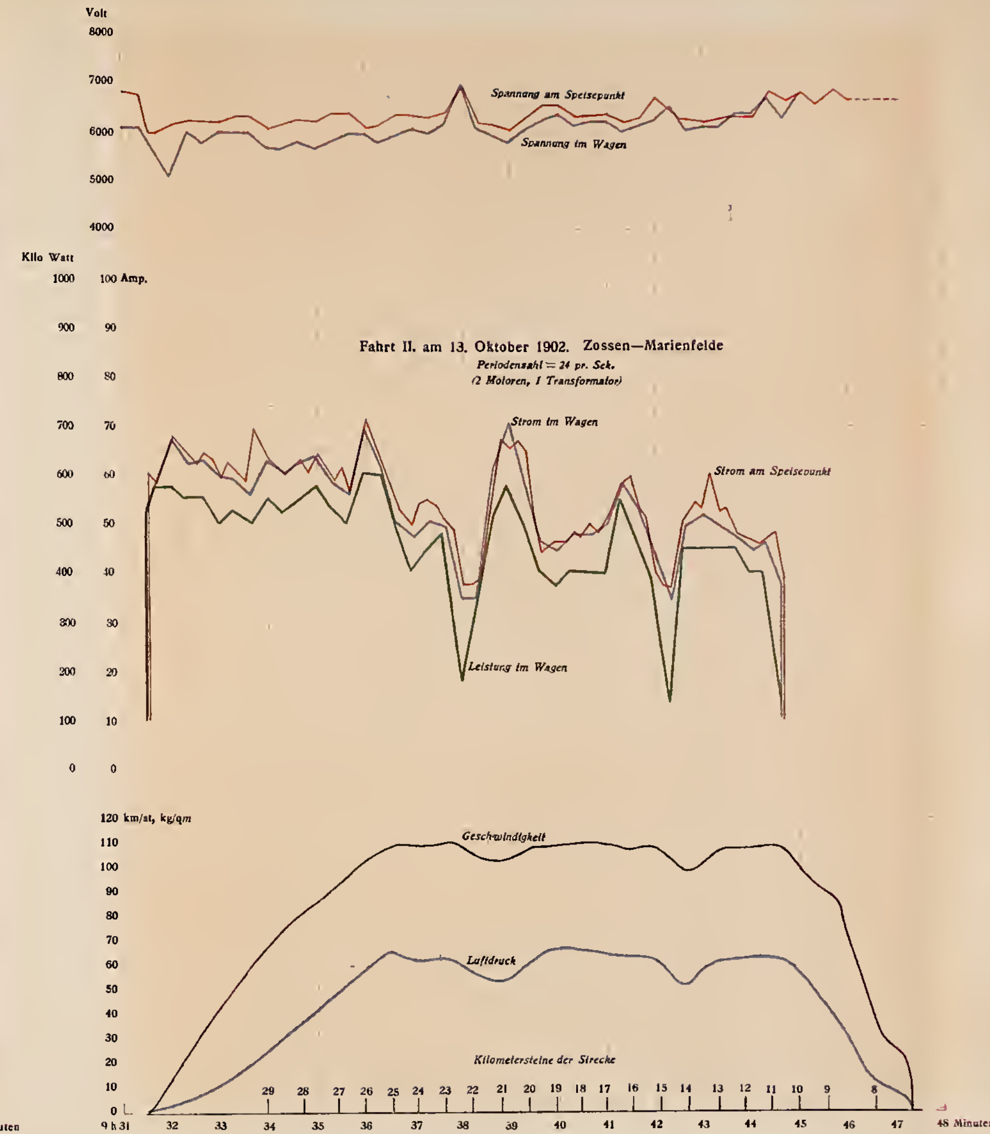


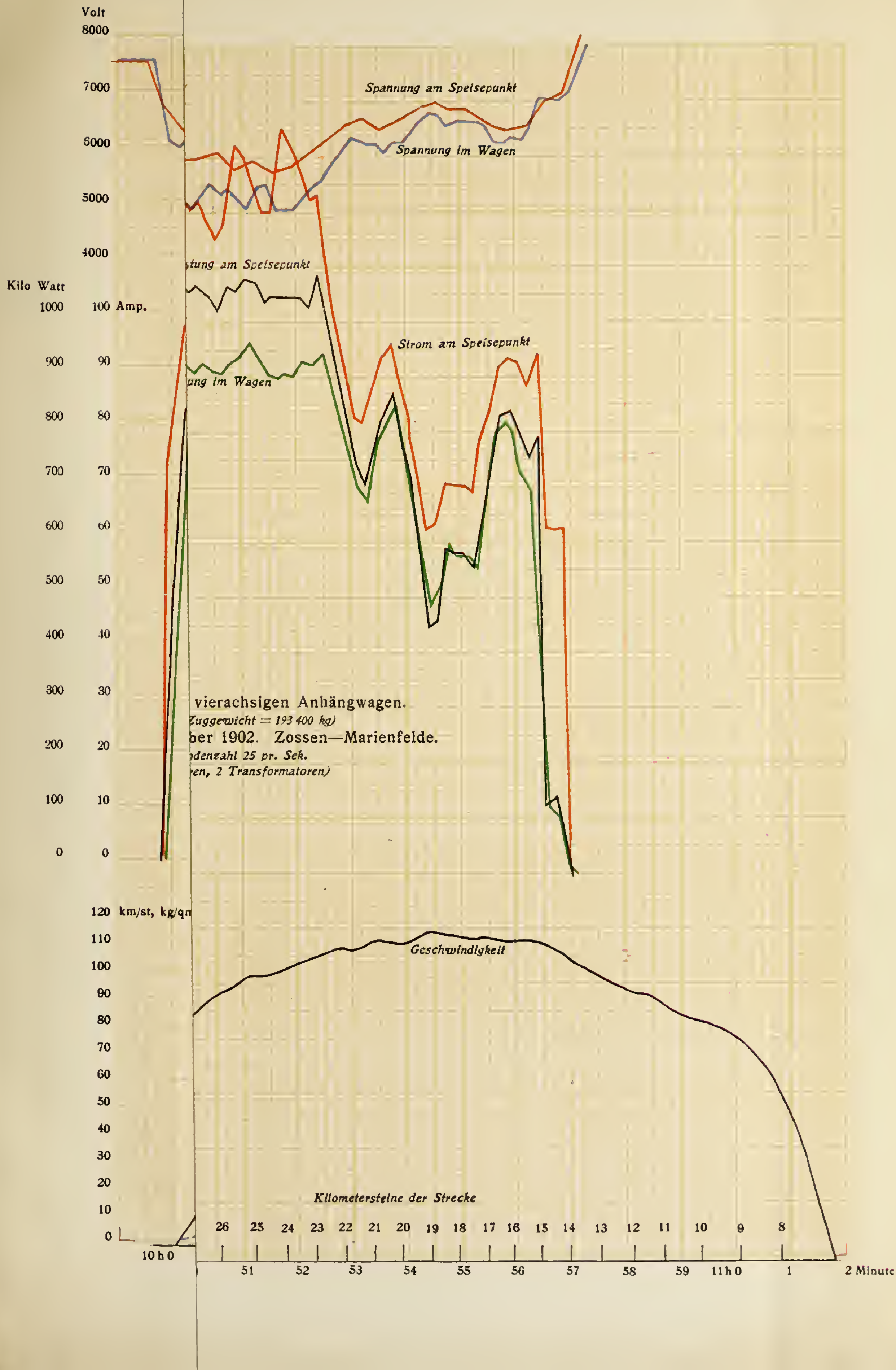

Spannung am Speisepunkt
Spannung im Wagen
Fahrt II. am 13. Oktober 1902. Zossen—Marienfelde
Periodenzahl = 24 pr. Sek.
(2 Motoren, 1 Transformator)
Strom im Wagen
Strom am Speisepunkt
Leistung im Wagen
Geschwindigkeit
Luftdruck
Kilometersteine der Strecke
29 28 27 26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8
33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 Minuten

Fahrten mit dem Wagen „S" (Wagengewicht = 77 900 kg)

(Geschwindigkeit, Luftdruck, Strom, Spannung und Leistung.)

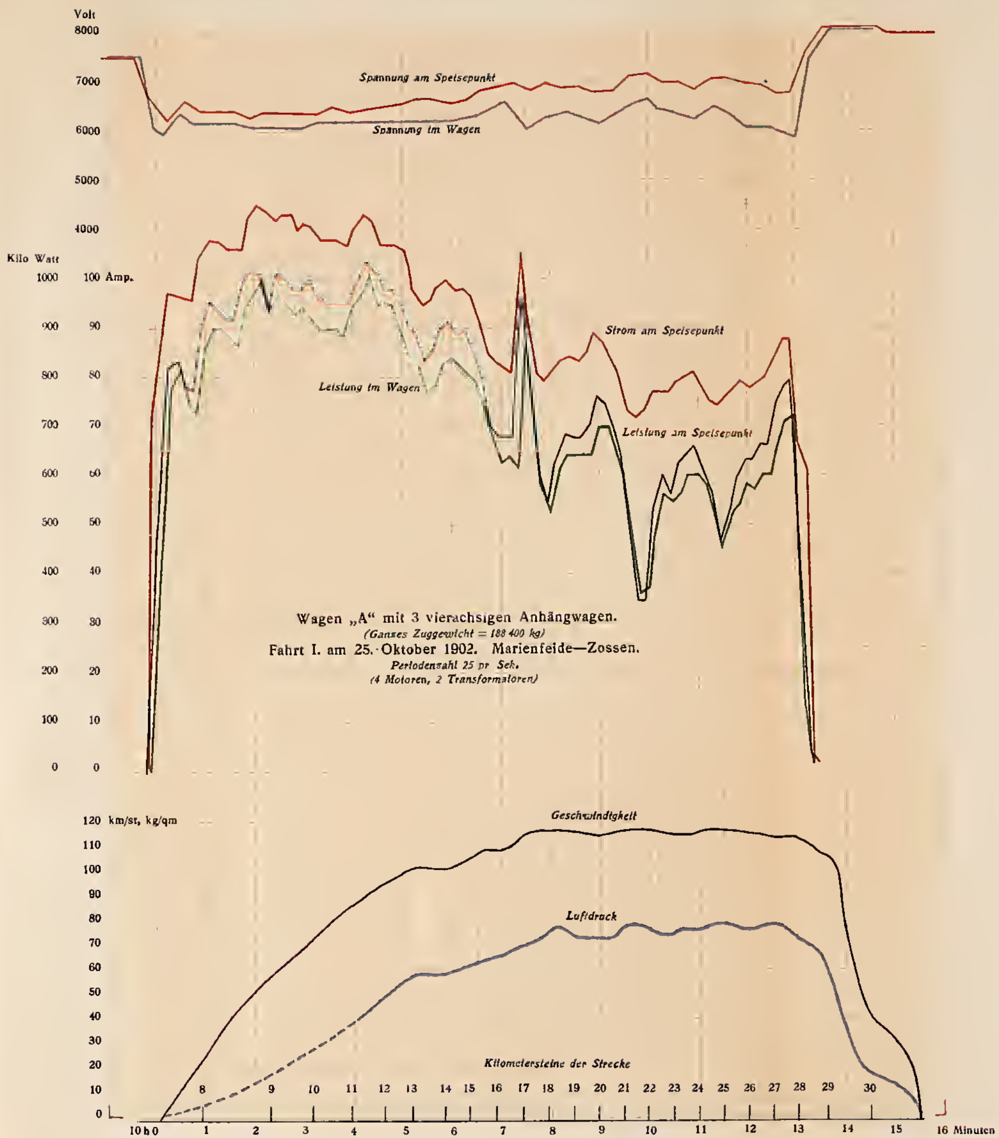


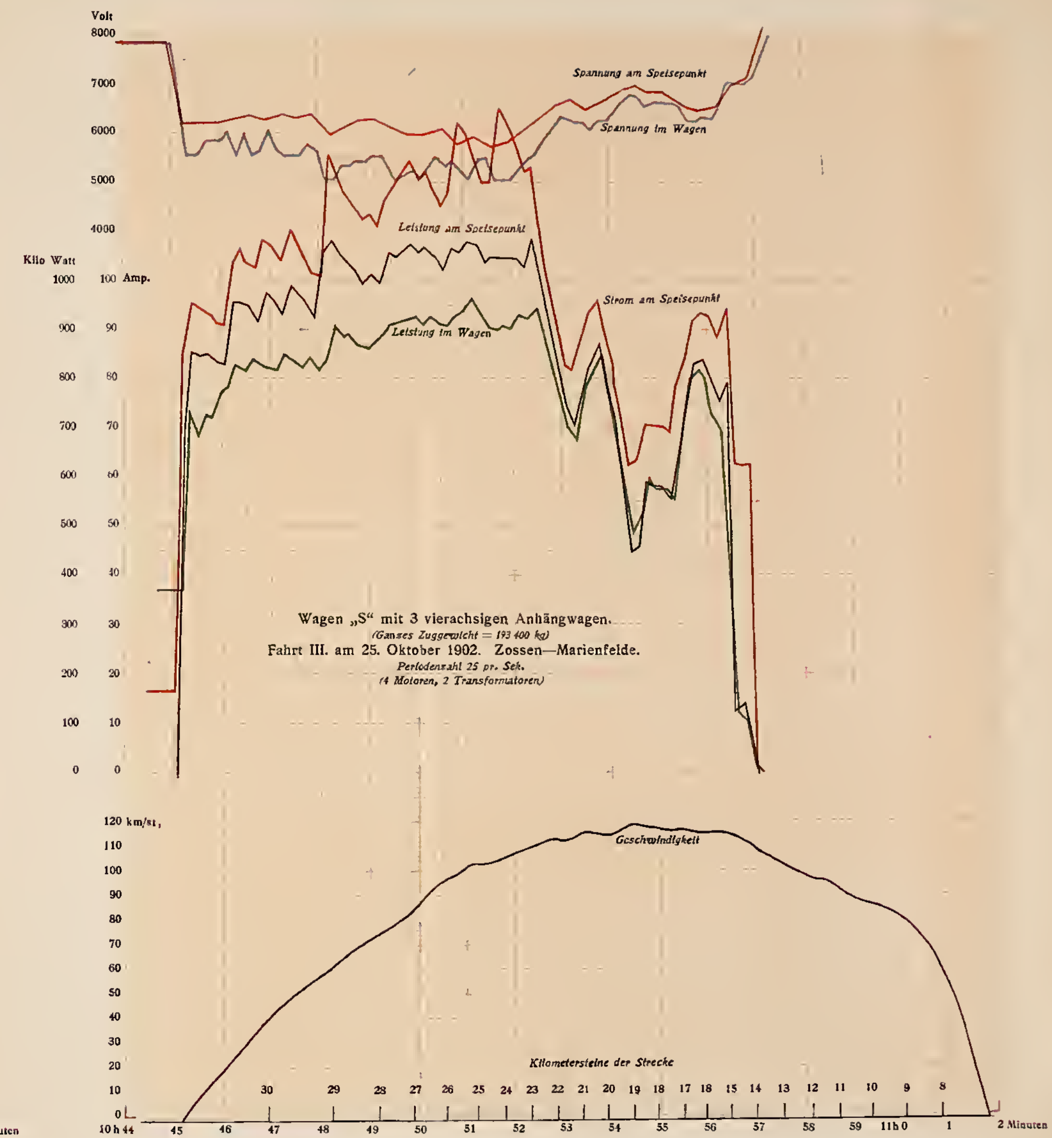


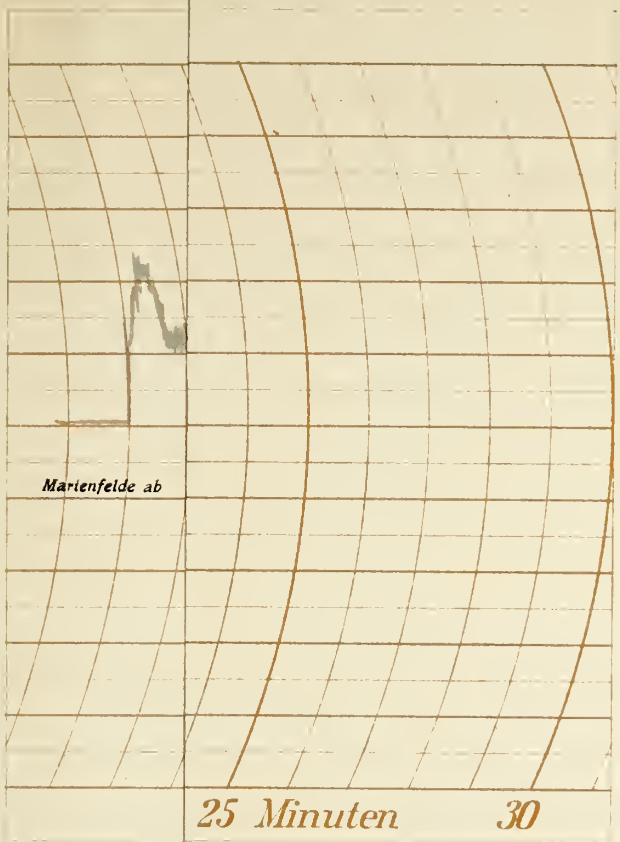

Volt
8000
7000
6000
5000
4000
Kilo Watt
1000
100 Amp.
Spannung am Speisepunkt
Spannung im Wagen
Leistung am Speisepunkt
Strom am Speisepunkt
Leistung im Wagen
vierachsigen Anhängwagen.
Zuggewicht = 193 400 kg)
ber 1902. Zossen—Marienfelde.
denzahl 25 pr. Sek.
en, 2 Transformatoren)
120 km/st, kg/qm
Geschwindigkeit
Kilometersteine der Strecke
26 25 24 23 22 21 20 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8
10 h 0
51 52 53 54 55 56 57 58 59 11 h 0 1 2 Minuten

Fahrten mit Anhängwagen.

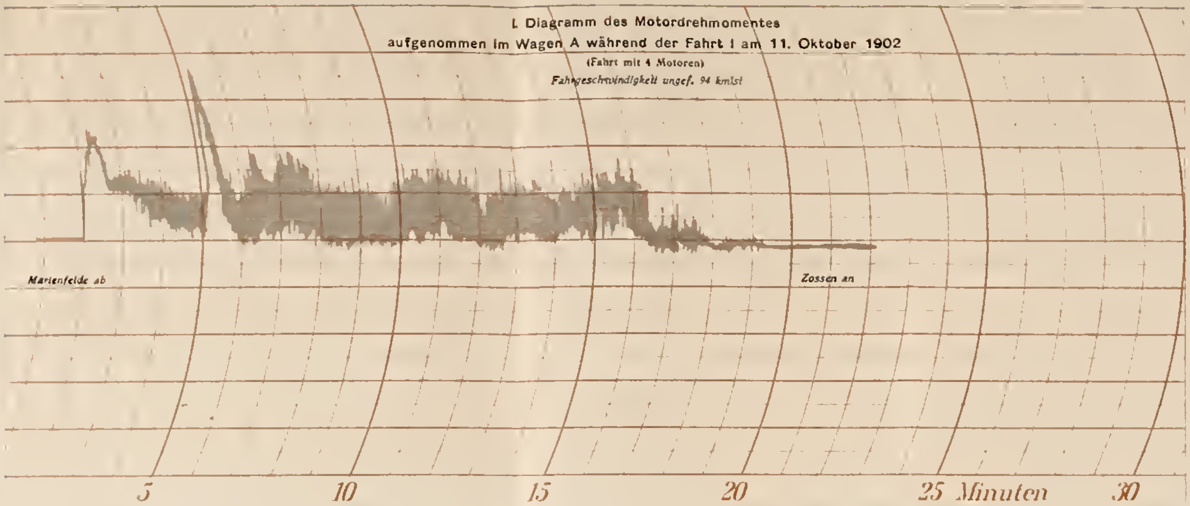
(Geschwindigkeit, Luftdruck, Strom, Spannung und Leistung.)

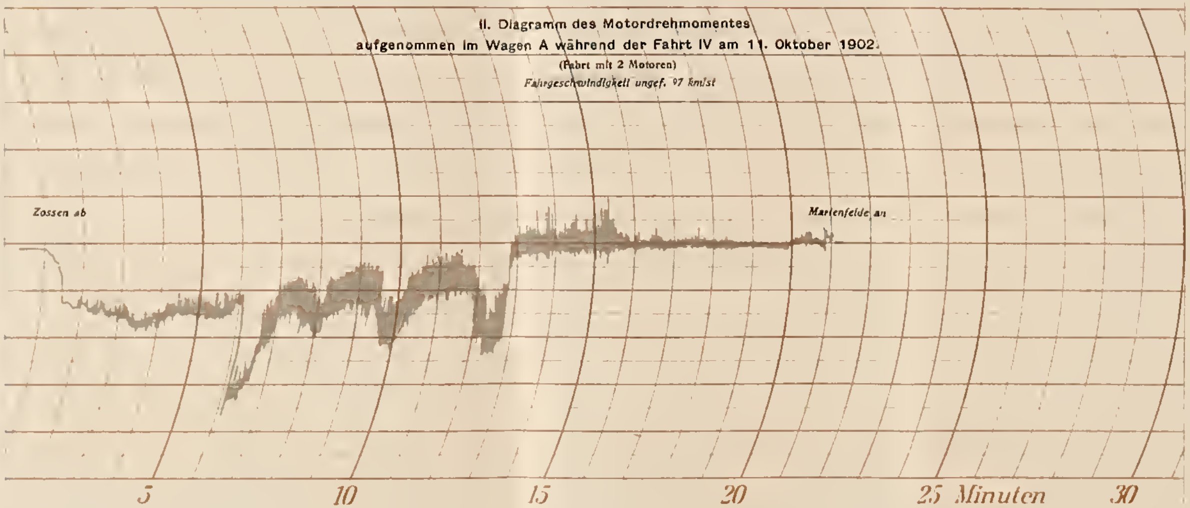


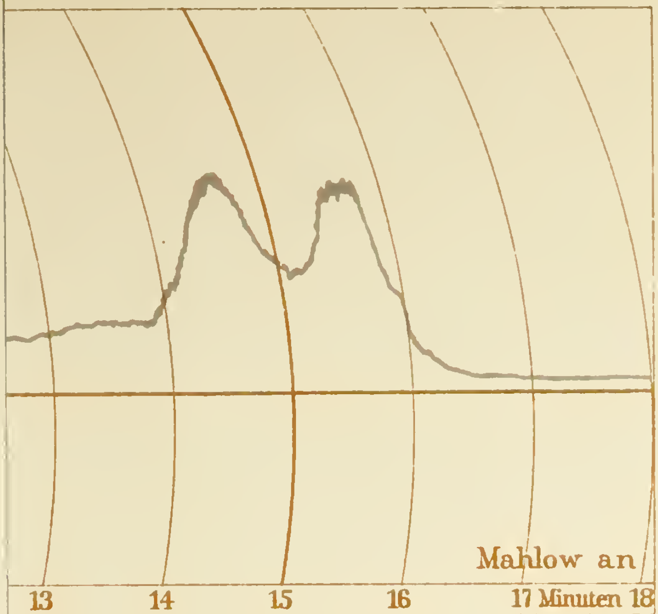


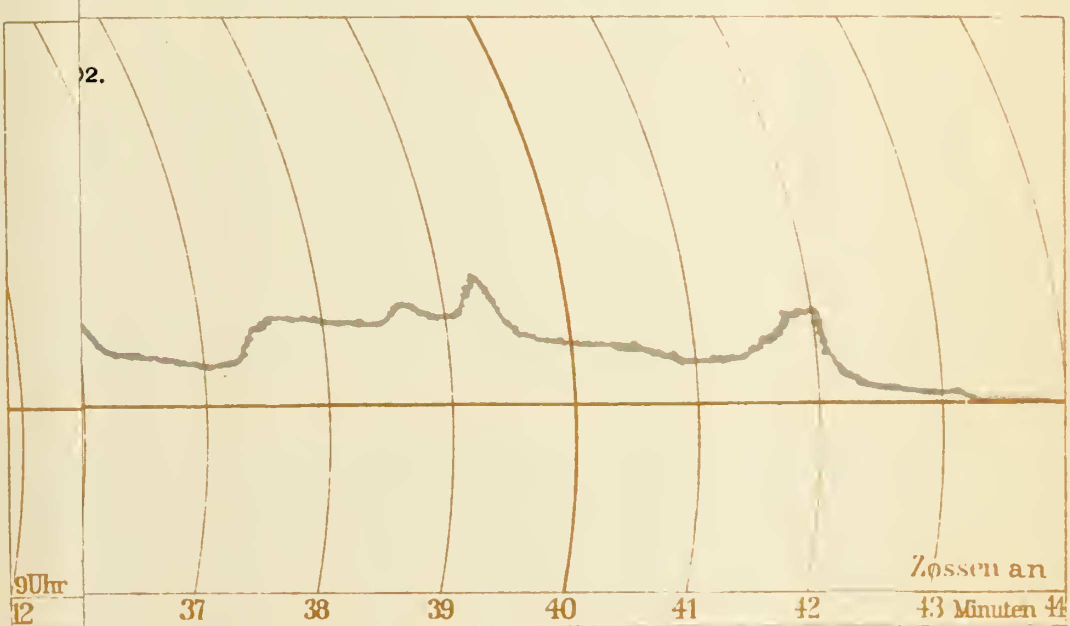

Marienfelde ab
25 Minuten 30

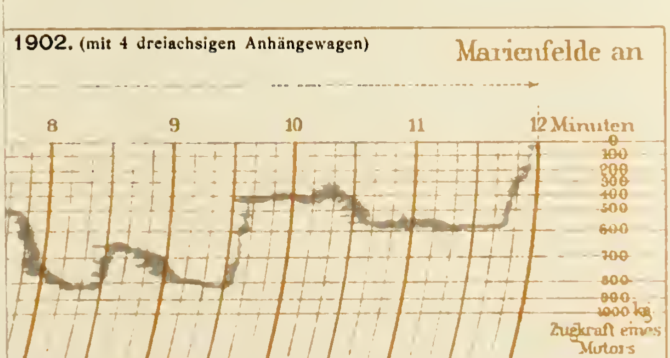

Zossen ab
25 Minuten 30


I. Diagramm des Motordrehmomentes
aufgenommen im Wagen A während der Fahrt I am 11. Oktober 1902
(Fahrt mit 4 Motoren)
Fahrgeschwindigkeit ungef. 94 km/st
Marienfelde ab
Zossen an
5
10
15
20
25 Minuten
30

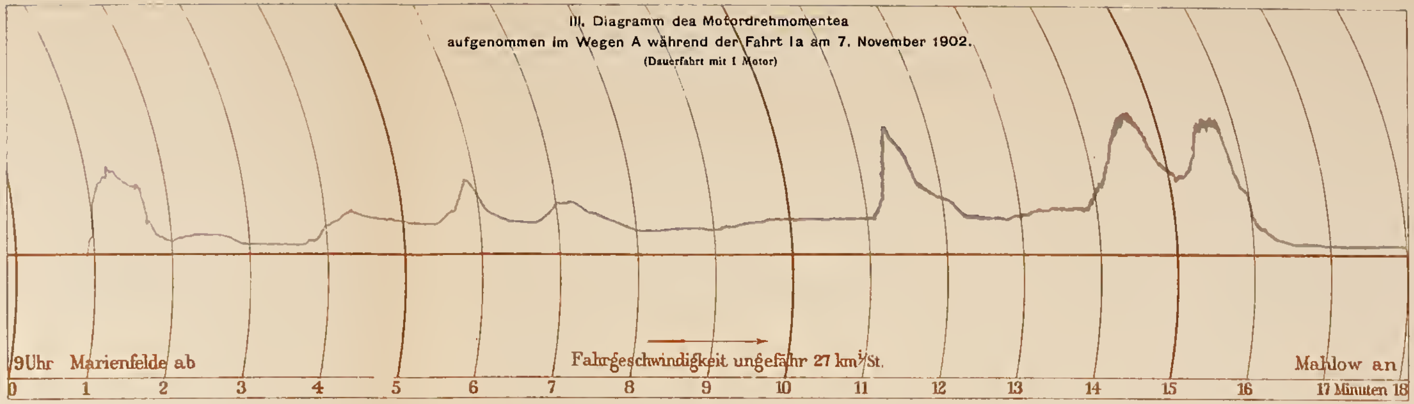

II. Diagramm des Motordrehmomentes
aufgenommen im Wagen A während der Fahrt IV am 11. Oktober 1902.
(Fahrt mit 2 Motoren)
Fahrgeschwindigkeit ungef. 97 km/st
Zossen ab
Marienfelde an
5
10
15
20
25 Minuten
30

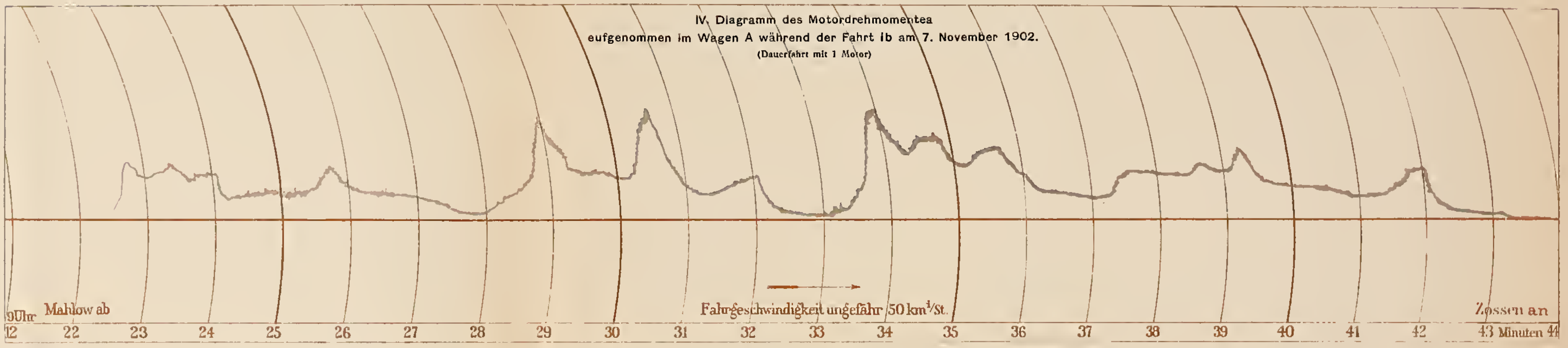


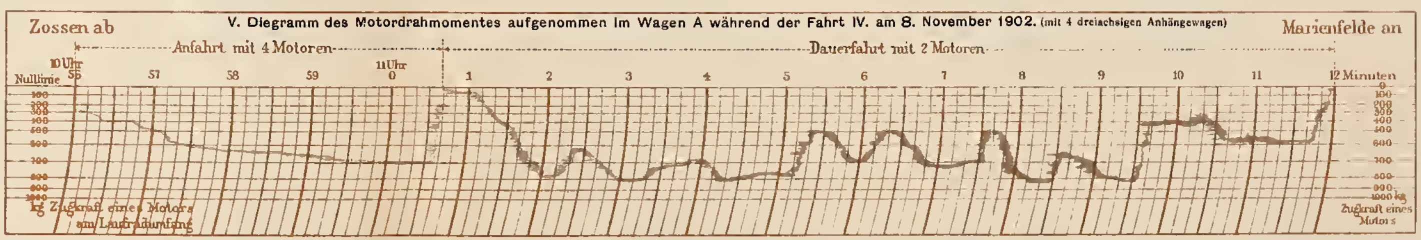




ungefähr 85 km/St.







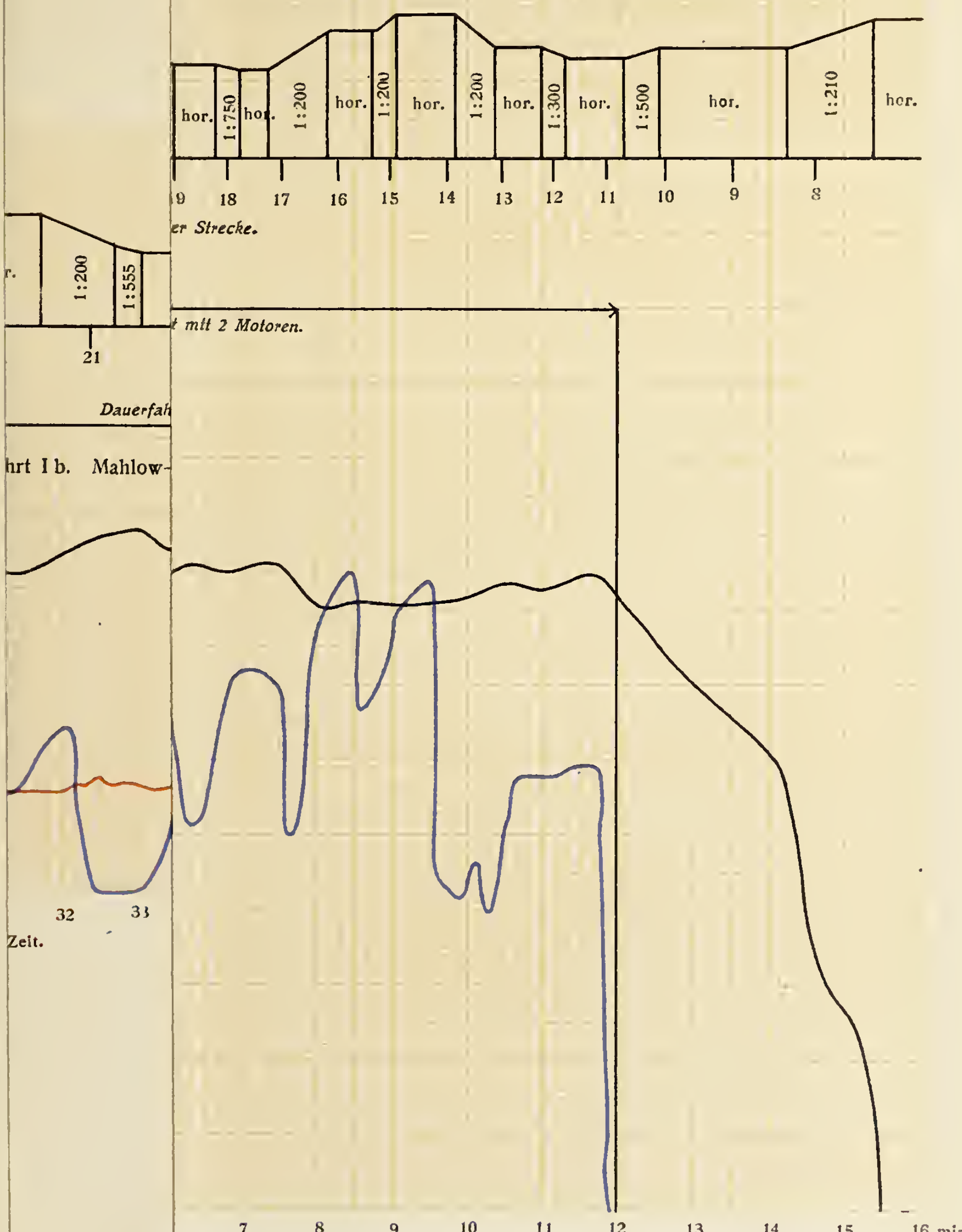
Gewicht des Motorwagens 89500 kg. Gewicht der Anhängewagen 71450 kg. Fahrgeschwindigkeit ungefähr 85 km/St.

sigen Anhängewagen am 8. November 1902.

und Längenprofil.

161 000 kg.)

arienfelde.

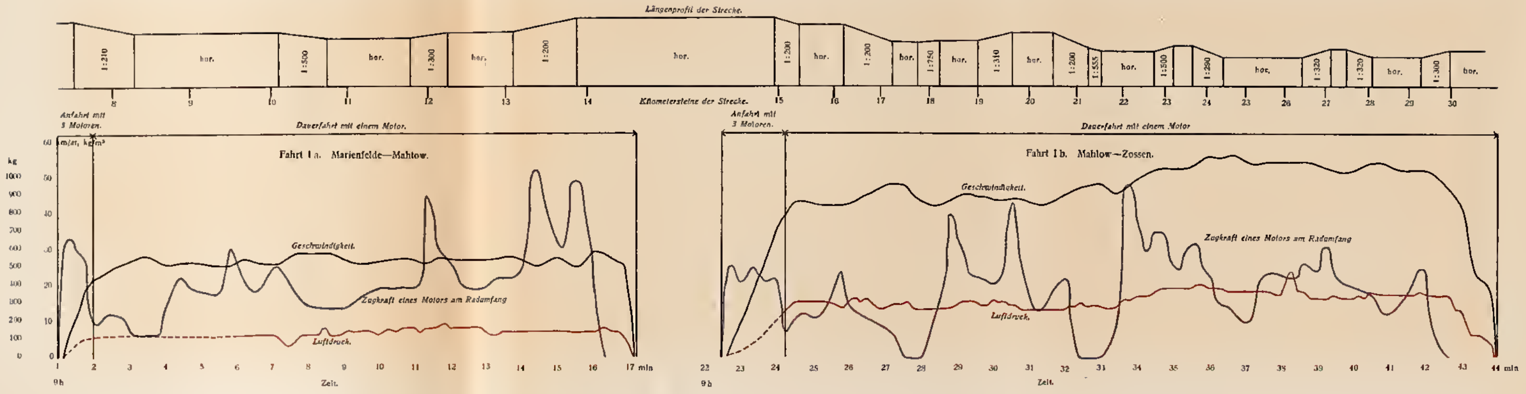


Versuchsfahrten mit dem Wagen „A" am 7. November 1902.

Zugkraft, Geschwindigkeit, Luftdruck und Längenprofil.

(Gewicht des Wagens 89 500 kg.)

Wetter: trocken, Windrichtung: N.O. — Windgeschwindigkeit: 5 m/sec

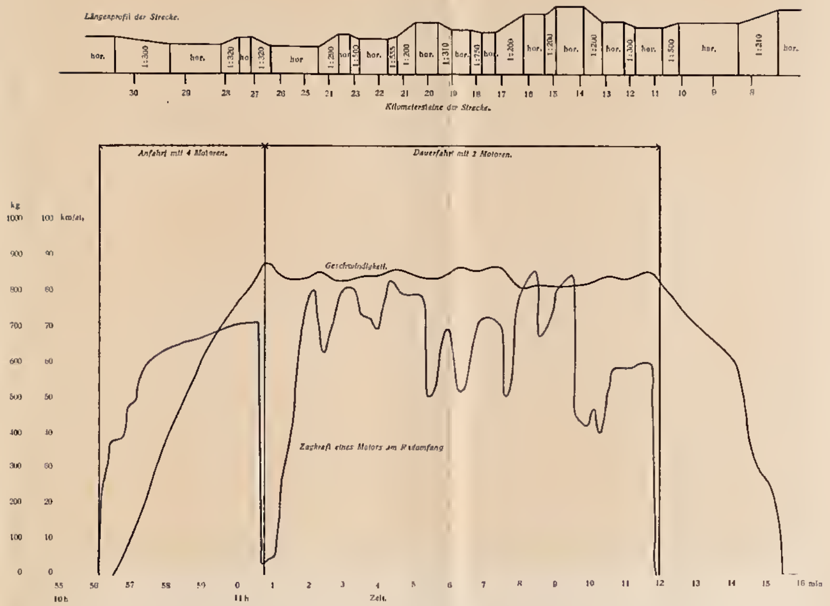


Versuchsfahrten mit dem Wagen „A" und 4 dreiachsigen Anhängewagen am 8. November 1902.

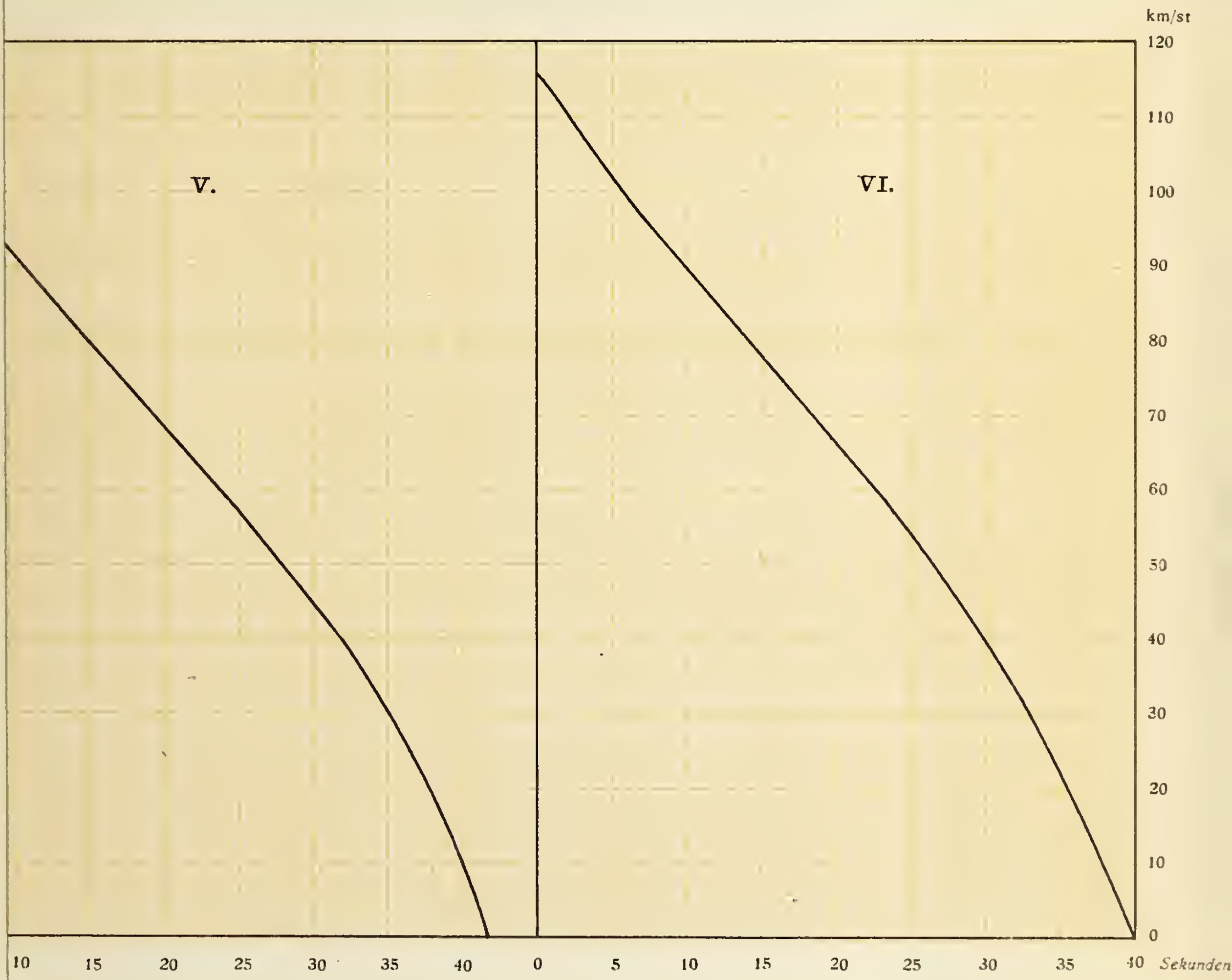
Zugkraft, Geschwindigkeit und Längenprofil.

(Gewicht des Zuges 164 000 kg.)

Fahrt IV. Zossen-Marienfelde.

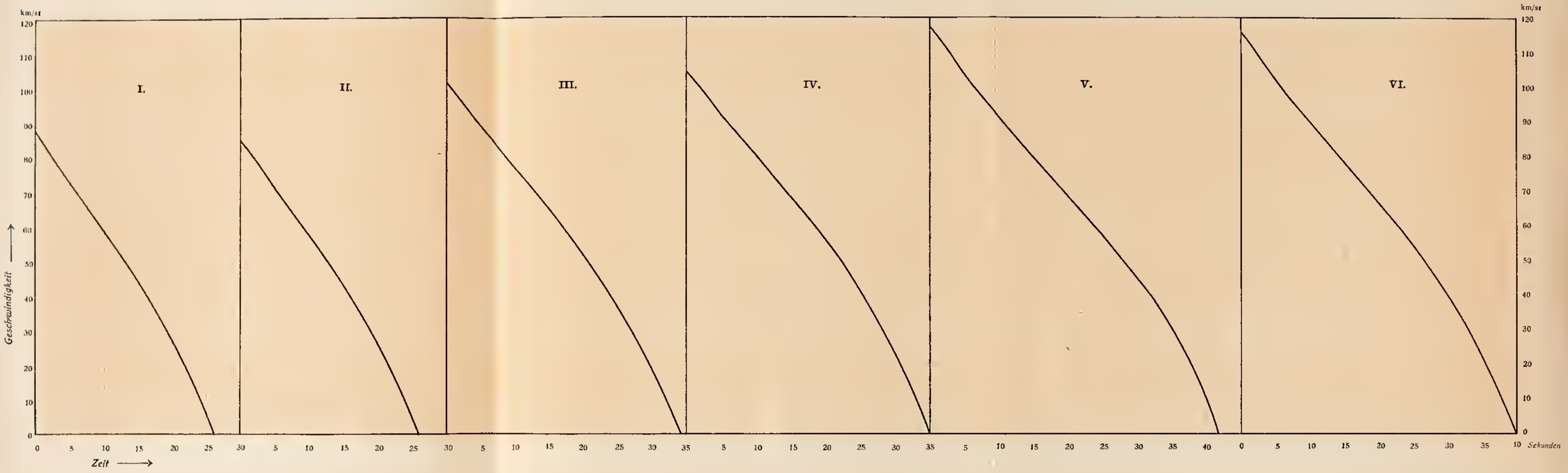


TAFEL 16.

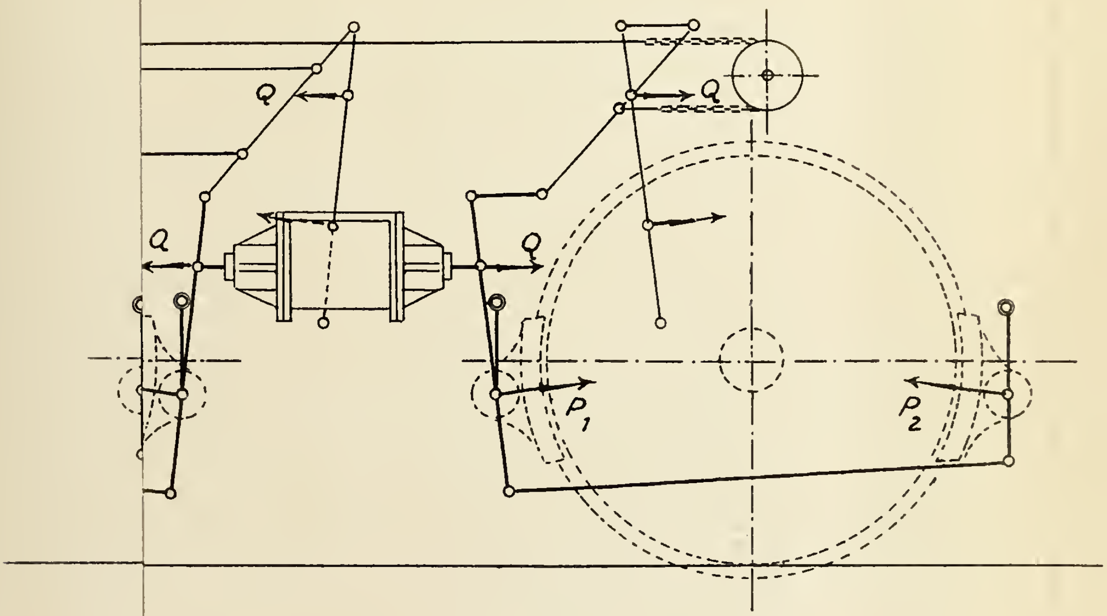


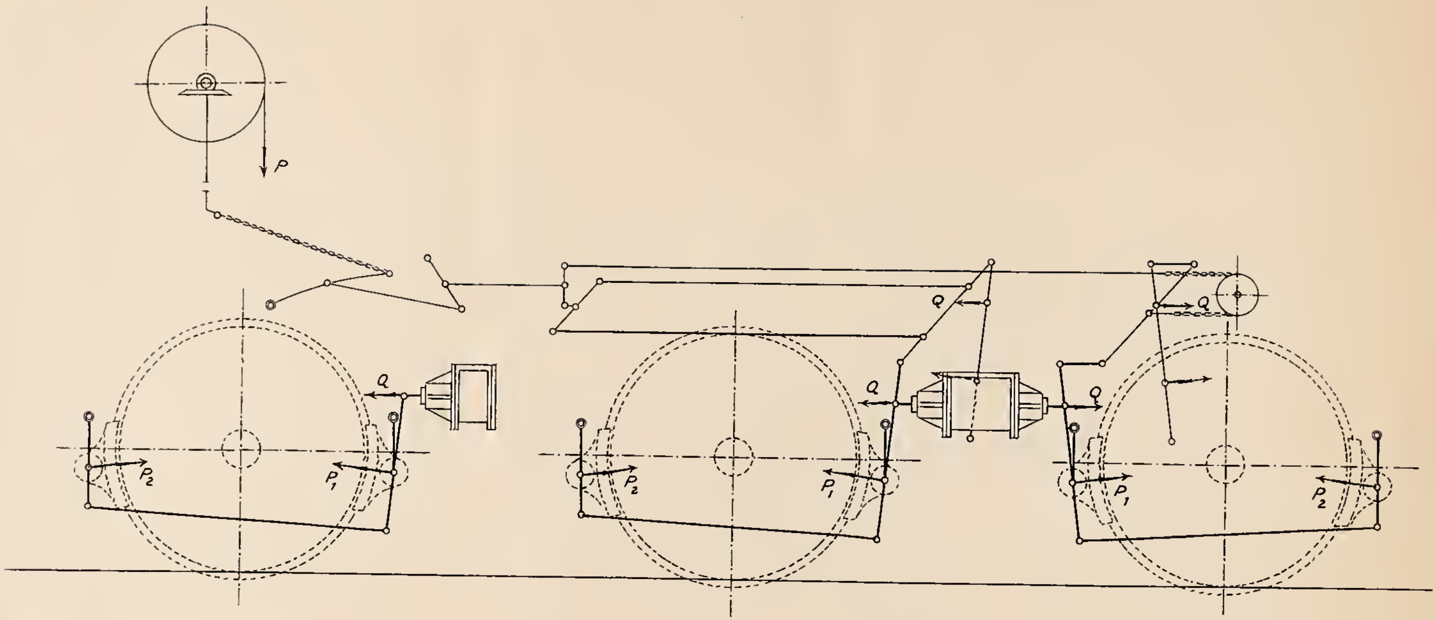
km/st
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
V.
VI.
10
15
20
25
30
35
40
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Sekunden

Bremsversuche am 30. Oktober 1902 mit dem Wagen S.



TAFEL 17.




P
Q
Q
Q
Q
Q
P_2
P_1
P_2
P_1
P_1
P_2

Messung des Gleises
bei km 11,0

Geschwindigkeit 85 km i. d. St.



es

. d. St.

Messung des Gleises
bei km 15,8

Geschwindigkeit 114 km i. d. St.

